

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2005年3月17日 (17.03.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/025037 A1

(51) 国際特許分類: H02K 21/00, 5/00, 15/02  
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/012289  
(22) 国際出願日: 2004年8月26日 (26.08.2004)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ:  
特願2003-312214 2003年9月4日 (04.09.2003) JP  
特願2004-014850 2004年1月22日 (22.01.2004) JP  
特願2004-015309 2004年1月23日 (23.01.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).

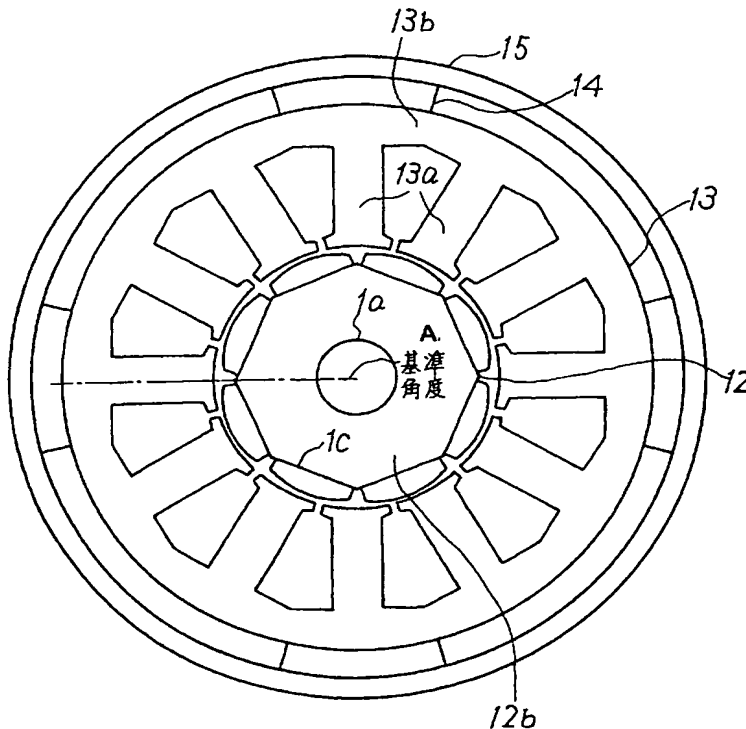
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 都出 結花利 (TOIDE, Yukari) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 大穀 晃裕 (DAIKOKU, Akihiro) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 中野 正嗣 (NAKANO, Masatsugu) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 有田 秀哲 (ARITA, Hideaki) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 山口 信一 (YAMAGUCHI, Shinichi) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 杉山 盛幸 (HAZEYAMA, Moriyuki) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 吉岡 孝 (YOSHIOKA, Takashi) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

/続葉有/

(54) Title: PERMANENT MAGNET TYPE SYNCHRONIZATION MOTOR AND MANUFACTURING METHOD THEREOF

(54) 発明の名称: 永久磁石式同期モータ及びその製造方法



A...REFERENCE ANGLE

(57) Abstract: For example, in a combination of: a rotor (1) having 8 magnetic poles; and a stator (2) having 12 slots and having permeance pulsation components of the same number as the number of the poles of the rotor (1) generating cogging torque on the substantially sinusoidal wave, pressure is applied from the outer circumference of the stator toward the inside by pressurizing parts (3) arranged at predetermined four positions, thereby canceling the cogging torque pulsation components of the same number as the number of poles of the rotor (1).

(57) 要約: 例えば、8極の磁極を有するロータ1と、12のスロットを有し、ロータ1の極数と同数で略正弦波上のコギングトルクを発生させるパリアンスの脈動成分を有するステータ2との組み合わせにおいて、所定の4箇所の位置に配設された加圧部品3にてステータ2の外周から内側に加圧することで、ロータ1の極数と同数のコギングトルク脈動成分を打ち消すようにしたもの。



Tokyo (JP). 菊池 友弘 (KIKUCHI, Tomohiro) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 速水 勝巳 (HAYAMI, Katsumi) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 宮崎 高志 (MIYAZAKI, Takashi) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 大岩 増雄, 外(OIWA, Masuo et al.); 〒6610012 兵庫県尼崎市南塚口町2丁目14-1 Hyogo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,

NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### 永久磁石式同期モータ及びその製造方法

#### 技術分野

- [0001] 本発明は、コギングトルクの低減に寄与する永久磁石式同期モータ及びその製造方法に関するものである。

#### 背景技術

- [0002] インナーロータ型永久磁石式同期モータにおけるコギングトルクは、巻き線への無通電時に、外部駆動にて磁石ロータ(回転子)を回転したときに、ステータコア(固定子鉄心)のティースとの間で発生する、トルクの脈動成分であり、理論上は、ロータ磁石の磁極数 $2p$ とステータコアのティース(スロット)数 $Z$ の最小公倍数の次数のみが現れる(非特許文献1参照)。しかしながら、この理論は、ロータ(主として磁石)や、ステータコアにおいて、形状や材料特性が、それぞれ均一であり、極数やスロット数に対して、完全に対称に製造されている場合に限られる。
- [0003] しかしながら、実機、特に量産の現場においては、これらの極数、スロット数の対称性がくずれることで、最小公倍数の次数よりも低次のコギングトルク成分が大きな振幅で現れることが多い。このコギングトルクの増大は、サーボモータにおいては位置決め精度の劣化を引き起こしたり、自動車用パワーステアリング用モータにおいては、操舵フィーリングの劣化を引き起こしたりして、製品の性能を大きく左右する。
- [0004] トルクの発生原理に立ち返り、トルクの脈動成分が発生するメカニズムを説明する。トルクは、磁束密度に関係し、磁束が通りやすい場合にはトルクが大きくなる。磁束の通り易さは、パーミアンス(磁気抵抗の逆数)と呼ばれ、この2乗に比例してトルクは発生する。従って、パーミアンスが変動すれば、コギングトルクとなる。磁束の発生源である磁石に、不均一な分布があり、極数と一致しない対称性がある場合には、これをステータ側が感じて、スロット数に一致する次数とその高次成分の脈動が現れる。高次成分は不均一成分が必ずしも正弦波的变化をしないことによる高調波成分である。
- [0005] 主たる磁束は、磁石から空気を経て、ステータコアのティースからバックヨーク部分

を通過して磁石に戻るため、通ridorの材質は2つに分けられる。ひとつは、ロータとステータ間に存在する空気であり、もうひとつは、コア(鉄心)を構成する磁性体である。近年は磁性体に、電磁鋼板の積層したものを使用することが多くなったので、多くは電磁鋼板の磁気特性が問題となる。主たる磁束の流れに不均一な分布があり、スロット数と一致しない対称性がある場合には、これをロータ側が感じて、極数に一致する次数とその高次成分の脈動が現れる。

[0006] 磁束の通ridorにおいて、空気中にあるのは、磁気の通り易さを示す透磁率 $\mu$ は、一定であるので、空気中の磁束量は、ギャップ(空隙)の長さの変化によって現れる。ロータ磁石とステータティースを回る主磁束が影響を受ける物理量には大きく分けて2つあり、ひとつは、ロータ磁石外径とステータティース間の最短距離を示すギャップ(エアーギャップと呼ぶ)であり、もうひとつは隣り合うステータティース間のギャップ(一般的に開口幅と呼ばれる)である。エアーギャップは、ロータの外径形状とステータの内径形状で決まるが、ステータの内径形状が問題になる場合が多い。

[0007] また、巻き線工程を容易にするため、ステータコアを略円形の一体コアで製造するのではなく、ティース間でコアが一部、あるいは全部が分割される方式を採用する場合には、分割された部位を接合した際に、微小隙間が存在することになり、隙間ギャップとなる。

また、一部が分割されて巻き線後に接合される場合には、接合の工程の都合上、この部分の形状をほかの部分と異なる構造とする場合があり、構造的な不均一性が生じる。

[0008] 次に、電磁鋼板などの磁性体により製作されたコア中の透磁率は、さまざまな要因により、個体差を生じるとともに、同一個体内において、不均一な分布を生じることが多い。個体差を生じる要因のひとつは、コア材料である電磁鋼板の組成(グレード)である。また同一個体内での差異を生じる要因のひとつとして、例えば電磁鋼板の圧延方向と直角方向で磁気的な特性が異なるため(磁気異方性と呼ぶ)、コア形状を打ち抜く方法によって、コアの特定の部分で、透磁率が異なる場合がある。また電磁鋼板を、金型の刃で打ち抜く際に、歯によって加えられた力によって、ティース端面の透磁率が劣化したり、積層を固定するための凹凸部(かしめと呼ぶ)の嵌め込み工程に

よって、かしめとその周辺の透磁率が劣化したりする。

- [0009] さらに、回転するロータとステータの間に発生するトルク力によりステータが変位しないよう、ステータコア外周にフレームを装着し、軸受けを支持するブラケットと固定する製造工程を行う場合が多いが、フレームがステータコア外周に与える力が、磁束があまり通らないステータコアの外周近傍だけでなく、主たる通り道であるティース付近にも影響を及ぼし、主磁束の通り道である電磁鋼板の磁気特性を劣化させたり、ティースの変位を引き起こし、ステータコアの内径形状を変化させたりしてしまう場合がある。

ギャップや磁気特性が、理想的に極数、スロット数に対して均一に製造されなければ、低次数のコギングトルクが発生する。

- [0010] 以上のように、スロット数 $Z$ に一致する次数のコギングトルクは、磁石側の不均一性によって発生し、極数 $2p$ に一致する次数のコギングトルクは、エアギャップの不均一性、開口幅の不均一性、隙間ギャップの不均一性、電磁鋼板の磁気異方性に関わる磁気特性の分布、打ち抜きやかしめ、フレームの応力により、透磁率が部分的に劣化して発生する磁気特性分布、さらに分割コアの隙間ギャップの不均一分布や、接合部の構造的な不均一性など、さまざまな要因によって、発生する。

これらの要因は、量産性向上のため製造方法、あるいは製造工程における工作精度の限界によって、現実のモータにおいて必ず発生するものである。

- [0011] こういった製造工程に着目して、コギングトルクを低減する試みはこれまでに見られる。例えばエアギャップの均一性を得るため、特開2001-218429号公報(特許文献1参照)においては、フレームにステータを圧入する際に、コア外周から内周にかけて、均等に圧力をかけて固定することにより、内径真円度を確保する対策を提案している。特開平09-23687号公報(特許文献2参照)においては、磁気異方性の方向をティースの中心角とずらすことで、磁気異方性によるコギングトルクを低減しようとしている。

- [0012] また、特開2001-95199号公報(特許文献3参照)においては、フレームの肉厚をできるだけ均一に保つことでフレームからステータに与えられる力を均一に保ち、ステータの内径形状が不均一に変化することを防止することで、コギングトルクの増大

を防止しようとしている。特開2001-258225号公報(特許文献4参照)や特開2002-272074号公報(特許文献5参照)においては、かしめによる影響を考慮して、かしめ数を限定する対策が提案されている。更に、特開平06-52346号公報(特許文献6参照)においては、継目部が略等間隔で周方向に配置されるように積層することにより、継目部による磁束の不均一性を解消しようとしている。

[0013] 本発明者らは、マグネットの極数 $2p$ とステータのスロット数 $Z$ との最小公倍数よりも少ない脈動数のコギングトルクのうち、極数 $2p$ と同次数の成分について調査し、量産によって製造される製品は、少なくとも2つ以上の要因の、振幅と位相を含めたコギングトルク波形の重畳の結果として現れる場合が多いことを解明した。したがって上記先行技術のように、1つの特性にのみ着目した対策をとるだけでは、コギングトルクを十分低減できず、また、個々の特性、例えば真円度を0に近づけるよう対策をとっても、現実には完全な理想状態にはもっていけないというのが基本的認識である。特に、量産で生産される現実のモータにおいては、工作精度を考慮せずして、コギングトルクを限りなく0にすることは困難である。すなわち、工作精度によって生じるコギングトルクを正味のものとして把握し、製造工程の最終段階において測定したコギングトルクを、相殺し0とする技術が求められる。

[0014] 非特許文献1: 電機学会回転機研究会資料 RM-03-152(2003)

特許文献1: 特開2001-218429号公報

特許文献2: 特開平09-23687号公報

特許文献3: 特開2001-95199号公報

特許文献4: 特開2001-258225号公報

特許文献5: 特開2002-272074号公報

特許文献6: 特開平06-52346号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0015] 永久磁石式同期モータにおいて、マグネットの極数 $2p$ と同数のコギングトルクの原因については、エアギャップの不均一性、開口幅の不均一性、隙間ギャップの不均一性、電磁鋼板の磁気異方性に関わる磁気特性の分布、打ち抜きやかしめ、フレ

ームの応力により、透磁率が部分的に劣化して発生する磁気特性分布、さらに分割コアの隙間ギャップの不均一分布や、接合部の構造的な不均一性など、さまざまな要因の複合的な重畳によって発生する。この場合、振幅だけでなく位相を含めたコギングトルク波形の重畳に着目する必要がある、別の特性と打ち消し合って振幅が見かけ上小さくなっている要因を、それぞれ分離して正しく見積り、個々の振幅を低減するための補正用対策を講じるほか、重畳の結果として現れるコギングトルクが、結果的に0に近づくよう、相殺用対策を講じる必要がある。

- [0016] この発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、試作段階で、コギングトルクの複合された個々の要因を分離し、振幅の大きい要因についての低減対策を徹底するとともに、製造の都合上、振幅を低減できない特性に対して、位相のコントロールが可能な特性を重畳して相殺するよう、工程を調整することにより、マグネットの極数 $2p$ と同次数の脈動成分のコギングトルクを、かぎりなく0に近く低減した永久磁石式同期モータとその製造方法を得ることを目的とするものである。

#### 課題を解決するための手段

- [0017] この発明は、円環状に形成され、コイルが配設された $Z$ 個( $Z$ は自然数)のスロットを有するステータと、 $2p$ 極( $p$ は自然数)の永久磁石を有し、前記ステータの円環部に挿入されるロータと、前記ステータの外周を $N$ 箇所( $N$ は自然数)において、ほかよりも大きな力で内側に加圧することが可能なフレームを備えたものである。具体的には、焼きばめやモールド工程の場合には、フレームの外形が円環ではなく、略四角形など厚み分布がある形状のフレームを利用してもよいし、フレームの形状が略円環である場合には部分的にスペーサなどの加圧部品を追加して加圧部位を $N$ 箇所とする。フレームの外径形状が略円形でなく、加圧点が $N$ 数よりも小さい場合には、加圧部品を追加することによって加圧点数を増加する。加圧また加圧部品を使用する場合には、加圧部位と加圧量を調整できる機構にする。
- [0018] フレームを装着するまでの工程において、ステータの個々のティースあるいはスロットを、識別できるマーキングを1箇所以上に記し、これを基準位置とする。分割コアであって接合した継目部がある場合には、継目部を基準位置とすることができる。試作段階において、フレーム装着以前の製造工程において、フレームなしステータ

のコギングトルクを測定するか、形状の精度が良く、フレームによる応力の影響を極力小さくした円環フレームを、試験的に装着したステータのコギングトルクを測定し、ステータ起因となる極数 $2p$ と同じ次数成分のコギングトルクについて、発生状態を特性別に分離し把握しておく。

- [0019] ステータにフレームを装着する工程において、前記ステータの基準位置と、フレームがもつ $N$ 箇所の加圧部位との位置関係を、前記フレーム装着前のコギングトルクの状態を相殺する $N$ 数と角度をもって位置決めしてから固定することを特徴とする。基準位置と加圧点の角度については、フレーム装着以前の製造工程において発生したコギングトルクと、そのコギングトルクの発生要因を、特性別に分離したデータをもとに決定する。

#### 発明の効果

- [0020] この発明は、ステータの所定の箇所に、応力による磁気特性の分布による不均一性と、応力による内径のエアギャップや開口幅、隙間ギャップの変位を与えることにより、ステータがもつ不均一性に起因するコギングトルクを打ち消して、全体のコギングトルクを低減させた永久磁石式同期モータを得ることができる。

#### 発明を実施するための最良の形態

- [0021] 実施の形態1.

図1は、本発明を実施するための実施の形態1におけるモータの組み立て方法を説明するための図である。図1において、固定子鉄心(ステータコア)1は12個のティース2と12個のスロット3を形成した電磁鋼板を積層して構成されている。フレーム4は、この例では図示しないロータ回転軸に垂直なフレーム4の断面形状として円形が予定されたものである(以下、円形フレームと称する)。ロータとステータを組み上げるためのネジ穴5が180度の角度で対向して設けられている。フレーム4は型に合わせて加工されるため、その形状精度は、型のそれとほぼ同等となっており、フレーム4の固定子鉄心1を入れる穴の形状の真円度(内径の最大/最小寸法差)は、あまり高くなく、ある製品系列について言えば、例えば $120\mu\text{m}$ 程度の楕円形状を有する。

- [0022] このときの楕円形状の短軸を、図1では直線6で示している。またフレーム4の外径形状は、概略内径形状と相似であり、楕円形状を有する。従って、フレーム4の厚み



は、周方向でほぼ一定であるが、形状測定の結果、楕円の長軸方向に必ず取り付け用のネジ穴5がくることが分かった。従って、長軸上のフレーム厚みは、ネジ穴径分だけ薄くなる。

一方、固定子鉄心1は、電磁鋼板を切断したものを、かしめながら積層して製作されるのが一般的であり、固定子鉄心1の外径の真円度は例えば $50\mu\text{m}$ 以下で、上記フレーム4の穴の形状に比し、ほぼ円と言えるものであることが多い。

[0023] 従来、フレーム4の穴に固定子鉄心1を挿入し固定する際に、フレーム4と固定子鉄心1とのロータ回転軸周りの回転方向位置関係は考慮されておらず、任意の位置で固定子鉄心1をフレーム4に焼きばめ、圧入、モールド等の方法で固定していた。

本発明は上述したようなフレーム4の穴の真円度が固定子鉄心1の外形の真円度に比べて劣ることが多い点に着目し、製造工程においてフレーム4と固定子鉄心1との固定プロセスにおいて上記回転方向の位置関係を管理することの有用性に注目したものである。

[0024] 例えば、焼きばめによって、フレームに固定子鉄心を固定する場合、フレームから固定子鉄心の最外径の側面に応力が掛かるのは、高温に保持し、形状が膨張したフレームに、常温状態の固定子鉄心を合わせて常温に放置する間に、フレームの形状が収縮して固定子鉄心を締め付けることで固定する。即ち、上記の、穴の形状が楕円形の断面を有するフレーム4とほぼ円形断面を有する固定子鉄心1とは、その固定プロセスの初期段階において、フレーム4の楕円形状穴の短軸方向でフレーム4と固定子鉄心1とが接触することになる。

[0025] さらに、一般的に、フレームの厚みが厚い方が、膨張および収縮時の形状変化は大きく、固定子鉄心の側面の最外径部分が、フレームから直接受ける力は、フレームの厚みが厚い方が大きいと言える。従って、このような場合の固定では、固定子鉄心1の応力が極大(この場合は最大)になる地点は、上記短軸に一致する直線6が固定子鉄心1の外径と交叉する点になる。この実施の形態では、この固定子鉄心1側の応力極大地点を固定子鉄心1のティース2の最近傍に来るようにするものである。ここで上記ティース2は偶数であるから、上記のような配置を実現することは、上記短軸に対応する直線6を、固定子鉄心1の互いに対極に位置するティース2を結ぶ線であるテ

ィース中心線7に一致させるか、あるいはその最近傍に来るようにすればよい。

- [0026] ティース中心線7はティース全数の1/2に相当する本数、即ち複数本設定することができるが、上記直線6に位置合わせするティース中心線7は、上記複数本のティース中心線7の内いずれであっても良い。このようにして位置決めした後、相互の位置関係を保ったまま両者を固定する。例えば焼きばめ固定を例にとりて説明すれば、まず最初に環境温度T0下で、フレーム4の穴、及び固定子鉄心1の外形をその形状を含めて計測する。通常は代表サンプルについて計測しておけばフレーム毎、固定子鉄心毎に計測する必要はない。

次にフレーム4を一定温度T1まで昇温する。T1はフレーム4、固定子鉄心1の材質、形状が与えられていれば、固定子鉄心1がフレーム4の穴に挿入できる程度に穴の径が熱膨張により大きくなるまでの温度として予め計算評価により求めることができる。

- [0027] このように、温度T1にまで加熱されたフレーム4に固定子鉄心1を挿入する。そして、予め判明しているフレーム4の穴の短軸に対応する直線6と固定子鉄心1のティース中心線7とを合致させるように固定子鉄心1を回転等によりフレーム4に対して位置合わせする。このようにして位置合わせした後はフレーム4を常温T0にまで冷却し、固定子鉄心1をフレーム4の冷却時の収縮によりフレーム4に対して固定する。

- [0028] 以上のように、フレーム4の短軸に対応する直線6と固定子鉄心1のティース中心線7とを位置合わせして固定することにより、他の箇所でも固定した場合に比べ、コギングトルクは低減する。これは、固定子鉄心の肉厚がティース2の分だけ他の箇所より厚く機械強度が強いことから、固定子鉄心1の内部を磁束が通る通り道に対し影響を与える領域が小さく、磁束が通る際に応力の影響を受けにくい、ということに起因しているものと考えられる。

- [0029] 永久磁石モータの場合、マグネットを含むロータ及びステータの形状が理論値であったとすると、上記非特許文献1の2〜4頁に示されているように、ロータが一周する際のコギングトルクの脈動数は、マグネットの極数とステータのスロット数との最小公倍数の回数となる。しかし、実際の製品においては、マグネットの極数とステータのスロット数との最小公倍数よりも少ない脈動数が発生しており、その代表的なものは、ス

データのスロット数と同数及びその整数倍、またはマグネットの極数及びその整数倍の脈動成分である。

[0030] このうち、マグネットの極数と同数のコギングトルクの脈動成分については、発生条件の一つとして、上記非特許文献1の4頁、(19)式に示すようにステータの作るパーミアンス分布関数がロータ1回転あたりに所定の条件を備えたN回の脈動成分を持った場合であることが示されており、さらにNの所定の条件について示されている。つまりステータ側の作るパーミアンスの脈動成分が、マグネットの極数と同数のコギングトルクの脈動成分を発生させる原因の一つとなっている。8極12スロットの場合、固定子鉄心には、 $N=4$ であり、 $N=2$ が作る高次成分としての $N=4$ も低次脈動成分の原因となる。

[0031] フレーム固定時に、フレームから固定子鉄心に力が加わった結果として、コギングトルクに影響が現れるメカニズムとしては、大きく分けて2つある。ひとつは、鉄心の変形の問題である。すなわち、鉄心内部に力が伝搬する際に、フレームと鉄心の剛性(硬さなど)のバランスで、最終的な状態に落ち着いたときに、主としてティース先端部の位置と開口幅(これらは、磁束を通る空隙に影響する)が、フレームに固定する前と比べて、どの程度変化し、ティース毎に見たときどのような不均一分布をもつか、である。

[0032] そして、二つめは、最終的に変形しきれずに残留応力として鉄心内部に残ったエネルギーが、鉄心の磁気特性(磁束の通りやすさ、透磁率)を部分的に変化させ、鉄心内部において、磁束の通り方が、ティース毎に見たときにどの程度変化し、どのような不均一な分布が生じたか、ということである。

これらの変化については、構造解析によって、最終的な変形の状態と、残留応力が分布する状態を計算することが可能である。特に、残留応力の分布については、磁束の通り道に対し、どのような領域でどのような変化が現れるかを知る手掛かりになる。

[0033] 一例として、内径が円で外径が楕円のフレームに、真円の固定子鉄心を焼きばめした場合の構造解析を行ったところ、ティース中心に応力の極大点を合わせた場合よりも、スロット中心に応力の極大を合わせた場合の方が、残留応力の2回対称の脈

動振幅が大きくなった。残留応力は、電磁鋼板の磁気特性を変化させるため、電磁鋼板の磁気特性も、2回対称の脈動振幅が大きくなって、低次成分のコギングトルクが大きくなると考えられる。すなわち、低次成分のコギングトルクを低減するためには、スロット中心に応力の極大点を合わせるよりも、ティース中心に応力の極大点を合わせた方が、効果があると考えられる。

[0034] しかし、上記極大応力地点をティース2の最近傍に位置合わせするのではなく、スロット3の中心部の最近傍に位置合わせすることも効果がある場合がある。即ち、互いに対極に位置するスロット3の中央部を結ぶ線であるスロット中心線8と上記直線6とを一致させるというものである。ティース中心線7に基づく上記位置合わせをした場合を除き、この場合もコギングトルクの低減効果が認められた。この位置では、固定子鉄心1の肉厚は他の箇所よりも小さいが、コギングトルクの改善が認められたことから、応力のかかる方向が固定子鉄心1の円形断面上で、半径方向ではなく、それに対して角度を有する方向であって、上記構造解析で示したように、残留応力そのものが分散されて振幅として小さくなったことが、コギングトルクを低減させる方向に効果が現れたものと思われる。

[0035] これは、コギングトルクが、最終的には、上記の残留応力による磁気特性の変化だけではなく、この変化に、実際のモータ動作を行う際の磁束の流れが組み合わさった結果として現れるためで、固定子鉄心の詳細な形状や、ロータ側の永久磁石の着磁方向、磁束の大きさなどの条件によって、応力の極大点と、固定子鉄心のティース中心あるいはスロット中心のどちらにあわせるのが最適であるかが変わると考えられるため、最適位置の決定に際しては、実施の形態2で示すように構造解析などを活用して決定するのが望ましい。

[0036] また、極数とスロット数の組み合わせが、本実施例と異なる場合でも、フレームから固定子鉄心に掛かる応力が、固定子鉄心のスロット部の側面に掛かるか、ティース部の側面に掛かるかによって、コギングトルクに現れる脈動成分が変化すると考えられるので、コギングトルクのばらつきを抑制するためには、フレームから固定子鉄心に掛かる応力の掛かり方を一定にする必要がある。そのためには、フレームから固定子鉄心に掛かる応力の極大あるいは極小の点に着目して、この点に対して固定子鉄心の

ティースあるいはスロット中心線を位置決めする必要がある。

[0037] このように、上記いずれの場合も、コギングトルクは、他の位置で固定した場合に比較して低減し、更に、この様に一定の配置関係を保って、管理された状態でフレーム4と固定子鉄心1とを固定すれば、同一機種である限りコギングトルクの大きさは揃うことになる。従来はこのような相互の固定位置関係を一定に管理するという方法を採用していなかったため、従来品におけるコギングトルクはその大きさにばらつきが大きく、平均統計的なコギングトルクの中心値が増大し、また、コギングトルクの大きさを製品管理指標としている場合は製品の歩留まりが低下することになっていたが、本発明によりコギングトルクの大きさのばらつきが改善され、上記したコギングトルク低減効果とあいまって製品の歩留まりも向上することになる。

[0038] この効果は、単に位置合わせをして固定するというだけで得られ、特許文献3に開示されているフィンを製造するといった複雑な製造工程を必要としないので製造工程を簡略化でき、コストの低減にも効果的である。また、特許文献3に開示されている発明では実効的なフレーム肉厚が大きく減少し、フレームの機械的強度という点からも不安があったが、本発明によれば、フレーム肉厚の減少もなく、この点からも優れている。

[0039] 実施の形態2.

図2は、本発明に係る実施の形態2におけるモータの組み立て方法を示すものであり、図において、フレーム4として、実施の形態1と同じ円形フレームを例にとった。符号は図1の場合と同様である。

この実施の形態2では、フレーム4から固定子鉄心1にかかる応力の極大地点の位置が、その形状からは、判然としないケースを示している。例えば焼きばめ固定を例にとって説明すると、フレーム4の穴の形状、及び固定子鉄心1の外形形状が共に楕円形状であり、フレーム4を冷却した場合に、固定子鉄心1のどの地点が最初にフレームと接触するのかが判然としない。したがって極大応力地点が判然としない。

[0040] このような場合に応力の極大位置を決めるためには、例えば構造解析プログラムを利用して、フレーム4から固定子鉄心1にかかる応力の分布を計算すれば良い。

フレーム4の形状と材質、固定子鉄心1の形状と材質、及び相互の配置条件と温度

条件が入力されれば、例えば焼きばめにより固定した場合の固定子鉄心の応力分布が構造解析プログラムを使って計算できる。フレーム4と固定子鉄心1の複数の配置条件(具体的には例えば回転角を変える)についての上記計算結果からティース中心線7、若しくはスロット中心線8に対応する位置に応力の極大値が来るような配置を見つけ出すことにより、所定の配置を決めることができる。

[0041] なお、この手法では、フレームが固定子鉄心側面に応力が掛かり、内部に歪みを伴いながら伝搬していった最終的な結果としての残留応力の分布と、方向も分かるので、この情報に基づきティース近傍、又はスロット近傍に応力の極大値を持ってくるのではなく、他の位置に極大値を持ってくる方がコギングトルクの低減の観点からは好ましい場合もありうる。これは、応力の方向とその方向における固定子鉄心1の肉厚から判断することになる。

[0042] なお、その機種で一旦決められた位置に位置合わせしてフレーム4と固定子鉄心1とを固定すれば、実施の形態1で述べたとおり、コギングトルクの低減効果に加えてそのバラツキを低減する効果もある。したがって、一定の配置関係に位置決めしないで固定する従来のモータ製造方法に比べて、コギングトルクの大きさのばらつき改善と、コギングトルク低減効果とがあいまって製品の歩留まりも向上することになる。

以上のことはフレーム4の外形が、方形やその他の形状であっても同様に成り立ち同様の効果を得ることができる。

[0043] 実施の形態3.

図3は、本発明に係る実施の形態3におけるモータの組み立て方法を示す図である。図1と同一符号は同一の部品を示している。フレーム4は方形フレームであり、また、フレーム4の穴の形状はその回転子回転軸に垂直な断面において略円形であるとし、固定子鉄心1の外形形状もまた、略円形である場合のものである。

このような場合は、フレーム4の肉厚が、周方向に明らかな分布を持つので、フレーム4から固定子鉄心1側面にかかる応力は、フレーム4の肉厚に依存し、法線方向のフレームの肉厚が大きければ大きいほど、側面にかかる応力は大きいと考えられる。すなわち、フレーム4の肉厚が他に比べて大きくなる対角線方向において、フレーム4から固定子鉄心1への応力は大きくなる。

[0044] したがって、応力の極大点にティース中心を合わせるため、フレーム4の2本の対角線9のいずれかに固定子鉄心1のティース中心線7が一致するように位置決めをして、固定子鉄心1をフレーム4に固定することにより実施の形態1で説明した効果と同様の、コギングトルク低減の効果を得ることができる。また本実施例のように、フレームの厚みが、法線方向に明らかな分布があり、それに依存した応力が、固定子鉄心にかかると考えられる場合で、分布が機械角360度に対し、4回対称であり、スロット数が12で、スロット数を対称性4で割った結果が3と奇数になる場合には、必ずしも応力が極大となる点にのみ着目する必要はなく、極小となる点に着目し、応力の極小点となる、フレームの辺中心線上に、固定子鉄心のスロット中心を合わせても、結果的には、応力の極大点とティース中心を合わせたことになる。

[0045] このように、フレーム形状とスロット数によっては、応力の極大点のみに着目する必要はなく、極小点に着目して、位置決めの基準を決定しても、構わないと言える。製造方法の詳細は上記位置決め方法を除き、実施の形態1に記載したとおりである。

なお、以上、実施の形態1から3においては、フレームと固定子鉄心の固定は、焼きばめにて行ったが、圧入方式でも接着剤による固定でもよく、特に固定の方法を限定するものではない。いずれの固定法を用いても上記同様の効果を得ることができる。

更に、本発明においては、12スロットのステータを例示したが、ほかの極スロットの場合でもよく、これを限定するものではない。

更にまた、上記各実施の形態においては、フレーム外形の断面形状として円形や、方形を例示したが、三角形や、五角形でもよく、フレームの形状を特に限定するものではない。

[0046] 実施の形態4.

図4は、本発明に係る実施の形態4におけるモータの組み立て方法を示す図である。図1と同一符号は同一の部品を示している。フレーム4は略方形フレームであり、対角線方向に略円形に切り欠き4aがある。また、図示していないが、上部にコネクタボックス等が設置されて、フレーム4の肉厚に影響を与える場合がある。

このような場合は、フレーム4の肉厚分布が簡単には分からないため、図5のような法線方向のフレーム肉厚の角度依存性を求めた。

[0047] その結果、肉厚分布が厚くなり、フレーム4から固定子鉄心1にかかる応力が極大になる部分が急峻であり、肉厚分布が極小になり、固定子鉄心が受ける応力が極小となる領域の方が、変化が緩やかであることが分かる。

前述したように、4回対称のフレームで、スロット数が12で対称性4で割った値が3と奇数であるので、応力極小となる点に着目して位置決めしても同等の配置になる。

特に本実施形態のフレーム形状のように、応力が極大となる点での変化率が急峻である場合には、製造工程上、どうしても有限の位置決め精度が存在するため、変化率が極小となる配置で位置決めした方が、量産時には位置決め誤差の影響を受けにくい。

[0048] そこで、本実施形態では、極小となる角度を中心として、量産機の位置決め精度 $\pm 10$ 度の範囲をもって、固定子鉄心1とフレーム4を位置決めして、フレーム4を固定することとした。このようにすることにより、実施の形態1で説明したのと同様の、コギングトルクを低減する効果を得ることができるとともに、工作工程上、位置決め精度が有限である場合に、その誤差の影響を受けにくい状態で位置決めすることが可能となり、量産時においてもコギングトルクをばらつきなく、小さい値に保つことができる。

[0049] 実施の形態5.

本実施形態においては、前記実施の形態4と同じフレームを使用するが、固定子鉄心に関節型鉄心を採用した場合を示している。これは、電磁鋼板から継ぎ目のない略円形で鉄心を打ち抜くのではなく、図6に示すように、1箇所以上の切れ目があり、スロット部に、曲げることができる蝶つがいの機構（関節部10）を設けて、ティースに巻き線を巻く工程時に、固定子鉄心を直線状にしておき、巻き線が容易に行えるように工夫したものである。

[0050] 固定子鉄心に、切れ目があるため、巻き線をした後に切れ目を合わせて、鉄心の側面に溶接などの接続作業をする必要がある。この部分を突き合せ部と呼ぶ。図7に突き合せ部11が分かる固定子鉄心の概略図を示す。鉄心の突き合せ部11には、溶接時の残留応力が残っているなど、ほかのスロット部分とは、構造的にも、内部状態としても、異なる特性を有している。このため、このような突き合せ部11が存在するような、関節型鉄心の場合には、フレームから突き合せ部にかかる応力が少ない方が望



ましいと考えられる。

- [0051] そこで本発明では、単にスロットの中心線ではなく、突き合せ部11の中心線を位置決め基準用の点とし、フレームから固定子鉄心にかかる応力についても、必ず極小となる配置、すなわち、フレームの法線方向の肉厚分布において、厚みが極小で、その変化率も極小となる配置に、突き合せ部11が合うように、位置決めの目標点を置く。位置決め精度は、実施の形態4と同等の $\pm 10$ 度である。
- [0052] 図8は、上記のように位置決めして製造した場合のコギングトルクの低次成分の実測結果をまとめたものである。 $\pm 10$ 度の範囲内で、位置決め角度がばらついても、目標とする0.05[arb.unit]以下に、おさまっている。なお、意図的に位置決め角度を22度とばらつかせた場合のデータを黒升印にて示している。以上の実測結果から、位置決めができていない場合に比べて、位置決めした場合には、確実にコギングトルクが低減していることが分かる。
- [0053] このように、フレームから固定子鉄心に掛かる応力、すなわち、フレームの法線方向の厚み分布が極小となり、かつ厚み分布の変化率が、極小となる点を目標点として、固定子鉄心の突き合せ部を合わせて位置決めすることにより、突き合せ部が存在する関節型鉄心を用いた場合でも、実施の形態1で説明した効果と同様のコギングトルクを低減する効果を得ることができるとともに、工作工程上、位置決め精度が有限である場合に、その誤差の影響を受けにくい状態で位置決めすることが可能となり、量産時においてもコギングトルクをばらつきなく、小さい値に保つことができる。
- また、本方法については、関節型鉄心に限らず、ティースとティースの接続部を薄肉で連結するタイプの薄肉連結型鉄心などにも使用することができることはもちろんである。
- [0054] 実施の形態6.
- 実施の形態6においては、加圧部品にてステータの所定の位置を加圧することで、コギングトルクを低減することができる8極12スロット型の永久磁石式同期モータについて説明する。図9は、実施の形態6に係わる永久磁石式同期モータの一実施の形態における断面図である。本実施の形態においてはロータが8極、ステータが12スロットである場合について説明する。

- [0055] ロータ12は、シャフト12aとロータヨーク12bと永久磁石である磁石12cとから構成されている。シャフト12aは、外形が8角形を有する磁性体のロータヨーク12bを固定しており、ロータヨーク12bは、外形の8角形の平面をなす部分の各々に磁石12cを固定している。磁石12cの極性は隣り合う同士で反対となるよう構成されている。固定子鉄心(ステータコア)13は、主にティース13aと円管上のバックヨーク13bとで構成されており、ステータ13のティース13aの内輪側とロータ12のマグネット12cの円弧側とが空隙を構成するように配設されている。尚、通常はティース13aの周りにはコイルが巻いてあるが、図1においては省略する。
- [0056] また、ステータ13の外側にはステータ13の外周の所定の位置を内側に加圧する加圧部品14と加圧部品14の外周で加圧部品14を内側へ加圧させるための外装フレーム15とが構成されている。また、図示しないが、ロータ12は回転可能に支持されており、本実施の形態においてマグネット12cは理想的に配置され、均一で対称的な磁束密度分布を構成するとする。一方ステータ13については製造上不均一な部分を有するためにパーミアンスに脈動成分がある。それが製品に与える影響等については後述する。
- [0057] 次に動作について説明する。ロータ12とステータ13を組み立てて、ティース13aの周りのコイル(図示していない)に電流を流さない状態のまま、低速かつ一定の速度にてロータ12を回転させ、その際に回転させるのに必要なトルクを角度毎に計測する。このトルクはロストトルクと呼ばれている。ロストトルクはロータ12を回転支持するためのベアリングの摺動トルクを代表とする一定部分と、ロータ12およびステータ13から構成される磁路回路の全磁気エネルギーにおけるロータ12の角度毎の変化量による脈動部分から構成されている。なお、上記脈動部分についてはコギングトルクと呼ばれている。
- [0058] 図10は実施の形態6に係わる永久磁石式同期モータにおいて、ロータの角度におけるコギングトルクの計測結果の一例である。ロータの角度は0から90度まで示している。図中、横軸はロータ角度、縦軸はコギングトルクであり、曲線aは、製造時に加圧部品14にてステータ13を外周の所定の位置から加圧する前に測定したものである。ロータ角度の基準はロータ12とステータ13の角度の位置関係が図9の配置の状

態である場合を0度としている。すなわち、ロータ12の基準角度を磁極同士の間とした場合に、ロータ12の基準角度の位置とステータ13のティース13aの中心とが一直線上となる場合である。

[0059] 図10の曲線aは、ロータ12が1回転するにあたり、24回の脈動成分と、8回の脈動成分を重ね合わせた成分をもっている。24回の脈動成分については、本実施の形態のロータ12の極数は8、ステータ13のスロット数が12であり、その最小公倍数となる24と一致することから、ステータ14及びロータ12が理論的な形状をなしていたとしても発生し得る脈動成分として一般に知られている。8回の脈動成分については、ロータ12の極数と同一である。

[0060] これについては、非特許文献1の4頁の(19)式に示すように、ロータ1が1回転あたり8回(2p)の脈動成分のコギングトルクを発生する可能性として、ステータの作るパーミアンス分布関数がロータ12の1回転あたりにN回の脈動成分を持った場合に起こり得ることが示されている。そしてそのNとは、極数の半分の値となる極対数をp、スロット数Z、パーミアンス分布関数をフーリエ級数に展開しときの空間次数 $i_1$ とすると、 $N=p \dots\dots (1)$ または  
 $N=\pm 2p-i_1 \times Z \dots\dots (2)$ または  
 $N=i_1 \times Z \pm 2p \dots\dots (3)$   
 を満たすどれかであることが示されている。

[0061] 最も影響が大きい次数 $i_1$ は1であるから、 $i_1=1$ としても差し支えない。これを実施の形態6の場合である8極12スロットの永久磁石式同期モータに適用した場合、Nの解のうち最も小さな数は4となる。p=4より、N=4となり、 $i_1=1$ 、Z=12、p=4の時、 $N=1 \times 12-8=4$ となる。Nの解が小さいほど、コギングトルクとして表れやすい。つまり、コギングトルクがロータ12の1回転あたり8回(正方向に8回、負方向に8回)の脈動成分をもっているということは、ステータ13が製造上、不均一であるためにステータ13のパーミアンス分布関数にN=4回の脈動成分がある可能性があることを示している。

[0062] しかし、その原因については単にステータ13の形状だけではなく、ステータ13に用いられる鋼板そのものがもつ透磁率の非等方性や、製造時の加工によって発生する

局部的な残留応力や、ステータ13の圧入等による応力等があげられ、製造上これらを特定して除去することは難しい。ロータ12の1回転あたり8回の脈動成分のコギングトルクを減少させるためには、逆にステータ13の作るパーミアンス分布関数の4回の脈動成分に対し反対位相となる成分を与えて、パーミアンス分布関数のうち4回の脈動成分を相殺させることが有効な手段として考えられる。

[0063] そこで、コギングトルクの8回の脈動成分の波形が図10のaのような位相の波形を示す場合は、図9に示すようにステータ13のパーミアンス分布関数の脈動回数4に等しい4個の加圧部品14を用意し、これを外装フレーム15とステータ13との間で、基準角度の位置と一直線上にあるティースの中心から90度間隔で4箇所圧入することで、ステータ13に所定の応力と変位を与える。その応力によって、ステータ13の局部的比透磁率が変化する。ステータ13の変位と応力による比透磁率の変化は、ステータ13とロータ12との空隙長としてロータ12の1回転あたり4回の脈動となっており、また、ステータ13のバックヨーク13bの応力により比透磁率もロータ12の1回転あたり4回の脈動となっている。よって、パーミアンス分布関数の4回の脈動成分に対して反対位相の成分を与え、ステータ13のパーミアンスの4回の脈動成分を相殺することができる。

[0064] 図10の曲線bは加圧部品14に適正なしめ代にてステータ13に圧入後に測定したコギングトルクである。aと比較して、コギングトルクの1回転あたり8回の脈動成分が相殺されており、全体としてコギングトルクが減少していることが分かる。

また、コギングトルクの8回の脈動成分の波形が図10の曲線aのような位相から $\alpha$ 度ずれていた場合は、それに応じて加圧位置を回転させることで対応可能である。加圧位置をずらす量は、概して $\alpha$ 度に比例する傾向はあるものの、圧入する場合のしめ代の程度にも依存するため、比例にならない場合もある。したがって、個々の製品の条件に応じて、実験的に把握することが望ましい。

[0065] 加圧箇所数は、式(1)～(3)で $i=1$ として、 $N=p$ 、 $N=\pm 2 \times p - Z$ 、または $N=Z \pm 2 \times p$ で求められる $N$ の解の正の値により決定し、加圧位置は、コギングトルクの測定でコギングトルクが零の点またはその近くを第一の加圧位置とし、その加圧位置は、図9の基準角度とし、残りの加圧位置は等しい角度間隔で配置する。

以上のことより、この実施の形態は、コイルが配設された12個のスロットを有するステータ13と、8極の永久磁石を有し、ステータ13の円環に挿入されるロータ12と、ステータ13の外周をN箇所において内側に加圧する加圧部品14であって、Nは $N=4$ 、 $N=\pm 2 \times 4 - 12$ 、または $N=12 \pm 2 \times 4$ から算出される値の正の最小値4であるものを備えたので、ステータ13の所定の箇所に応力と応力による変位を与えて、ステータ13の作るパーミアンスの4回の脈動成分を打ち消してロータ12の極数と同数の脈動成分のコギングトルクを低減させることができる。

[0066] 尚、本実施の形態においては、ステータ13と外装フレーム15との間に円弧状の加圧部品14を配設する構造としたが、ステータ13の外周の所定の4箇所に内側に応力をかけられる構造であればよいので、たとえば大量生産する製品に適用した場合において、応力をかける所定の箇所が製品毎にほぼ同じである場合には、外装をモールドする際に外側の肉厚を厚くするなどしてモールドの成形方向及び形状を工夫することで、所定の位置に内側に応力をかけることが可能である。

[0067] また、本実施の形態においては、ロータ12の極数とステータ13のスロットとの比が2:3の関係にあり、それと同数の比として代表的な例としては4極6スロット、6極9スロットがある。これらがロータの極数と同数のコギングトルクの脈動を発生させる可能性のある、ステータ13の作るパーミアンス分布関数のN回脈動のNの解の最小は、4極6スロットの場合は $N=2$ 、6極9スロットの場合は $N=3$ となる。これらはロータ12の角度を電気角としてみた場合は、ステータ13のスロットとロータ12の極との角度の関係が全く同じであるため、それぞれ対応した数の加圧部品14を適切に配置すれば同様の効果を奏する。なお、本実施の形態では、Nを $N=p$ 、 $N=\pm 2 \times p - Z$ 、または $N=Z \pm 2 \times p$ で求められる値の正の最小値としたが、最小値に限るものではなく正の値のいずれでも良い。

[0068] 実施の形態7.

実施の形態7においては、加圧部品にてステータの所定の位置を加圧することで、コギングトルクを低減することができる10極12スロット型の永久磁石式同期モータについて説明する。

図11は、本実施の形態7に係わる永久磁石式同期モータにおける断面図である。

実施の形態6と比較して本実施の形態においてはロータが10極、ステータが12スロットとなっている。但し、加圧部品14は実施の形態6においては4箇所配設されているが、本実施の形態においては2箇所のみとなっている。

- [0069] また、本実施の形態においてマグネット12cは理想的に配置され、均一で対称的な磁束密度分布を構成するとする。一方ステータ13については製造上不均一な部分を有するためにパーミアンスに脈動成分がある。それが製品に与える影響等については後述する。

図12は本実施の形態7に係わる永久磁石式同期モータにおけるロータ12の角度におけるコギングトルクの計測結果の一例である。ロータの角度は0から360度まで示している。図12(a)は、製造時に加圧部品3にてステータ13を外周の所定の位置から加圧する前に測定したものである。

- [0070] 図12(a)のコギングトルクは、ロータ12が1回転するにあたり、ステータ13のスロット数と同じ12回の脈動成分と、ロータ12の極数と同じ10回の脈動成分を重ね合わせた成分をもっている。ロータ12の極数と同じ10回の脈動成分についても、実施の形態6に示した理論と同様に、ロータ12が1回転あたり $10(2p)$ 回の脈動成分のコギングトルクを発生する可能性のある、ステータの作るパーミアンス分布関数のロータ12の1回転あたりの $N$ 回の脈動成分の $N$ の条件は、 $N=p$ 、または $N=\pm 2p-i1 \times Z$ 、または $N=i1 \times Z \pm 2p$ を満たすどれかである。よって、実施の形態7の場合である10極12スロットの永久磁石式同期モータに適用した場合、 $N$ の解のうち最も小さな数は2となる。 $i1=1$ 、 $Z=12$ 、 $2p=10$ の場合であり、 $N=1 \times 12-10$ である。

- [0071] つまり、コギングトルクがロータ12の1回転あたり10回(正方向に10回、負方向に10回)の脈動成分を持っているということは、ステータ13が製造上、不均一であるためにステータ13のパーミアンス分布関数に2回の脈動成分がある可能性があることを示している。原因については実施の形態6にて述べたように、単にステータ13の形状だけではなく、鋼板そのものがもつ透磁率の非等方性や、製造時の加工によって発生する局所的な残留応力や、ステータ13の圧入等による応力等があげられる。

- [0072] 特に、パーミアンス分布関数の2回の脈動成分については、ステータ13に用いられる鋼板そのものの製造時に、鋼板を製造する際の圧延工程を経ると、圧延方向とそ

の直交方向とで残存する内部応力が異なるため、鋼板の比透磁率が非等方性となる。そしてその鋼板から打ち抜かれたコアの方向をそろえたまま重ね合され、ステータ13となった場合に、ステータ13のバックヨーク13bの比透磁率は、ロータ12の1回転あたり2回の脈動成分を持つこととなる。ロータ12の1回転あたり10回の脈動成分のコギングトルクを減少させるためには、逆にステータ13の作るパーミアンス分布関数の2回の脈動成分に対し反対位相の成分を与えればよい。

[0073] そこで、コギングトルクの8回の脈動成分の波形が図2の曲線aのような位相の波形を示す場合は、図11に示すようにステータ13のパーミアンス分布関数の脈動回数2に等しい2個の加圧部品3を用意し、これを外装フレーム15とステータ13との間で、対向する位置に圧入することで、ステータ13に所定の応力と変位を与える。その応力によって、ステータ13の局部の比透磁率が変化する。ステータ13の変位と応力による比透磁率の変化は、ステータ13とロータ12との空隙量として、ロータ12の1回転あたり2回の脈動となっており、また、ステータ13のバックヨークの応力により比透磁率も、ロータ12の1回転あたり2回の脈動となっている。よって、ステータ13とロータ12の位置関係さえあわせれば、パーミアンス分布関数も2回の脈動成分に対し反対位相の成分を与えることとなる。

[0074] 図12(b)は加圧部品14を適正なしめ代にてステータ13に圧入後に測定したコギングトルクである。図12(a)と比較して、コギングトルクの1回転あたり10回の脈動成分が相殺されており、全体としてコギングトルクが減少していることが分かる。

以上のことより、この実施の形態は、コイルが配設された12個のスロットを有するステータ13と、10極の永久磁石12cを有し、ステータ13の円環に挿入されるロータ12と、ステータ13の外周をN箇所において内側に加圧する加圧部品14であって、Nは $N=5$ 、 $N=\pm 2 \times 5 - 12$ 、または $N=12 \pm 2 \times 5$ から算出される値の正の最小値2であるものとを備えたので、ステータ13の所定の箇所に応力と応力による変位を与えて、ステータ13の作るパーミアンスの2回の脈動成分を打ち消してロータ12の極数と同数の脈動成分のコギングトルクを低減させることができる。

[0075] 実施の形態8.

図13は、本発明に係わる永久磁石式同期モータの第8の実施の形態における断

面図である。実施の形態6との違いは、加圧部品14と外装フレーム15の代わりに、フレーム5にステータ13が圧入されている点において異なる。また、図14は、本実施の形態8に係わる永久磁石型同期モータの横断面図である。フレーム15は、ステータ13の所定の位置を4箇所加圧する加圧部14aと、ロータ12の一端を回転可能に支持できるようにロータ12に勘合されるベアリング17の外輪を支持するための軸受け部14bが設けられている。構造上、フレーム15の軸受け部14bと加圧部14aはロータ12と同軸上に構成される。

[0076] 製造時、ステータ13は、フレーム15の加圧部分14aとステータ13の外周部の所定の位置とをあわせて、フレーム15に圧入される。すると、フレーム15は直接ステータ13の外周部の所定の位置を内側に加圧する。よって実施の形態6における加圧部品14と同様の作用をステータ13に与えることで、コギングトルクを低減することができる。従って、第8の実施の形態においては実施の形態6と同じ効果を得ることが出来ることに加え、フレーム15にて直接ステータ13の外周の所定の位置を加圧できる構成としたので、部品を簡素化できる。

[0077] 尚、本実施の形態において、フレーム15がステータ13を固定して加圧する手段として圧入することによって行う場合について説明したが、焼きばめにて行ってもよい。

また、本実施の形態では8極12スロットの場合について説明したが、実施の形態7における10極12スロットにおいてフレーム15の加圧部を2箇所にするれば同様の効果を得ることができる。

[0078] 実施の形態9.

実施の形態9においては、本発明に係わる永久磁石式同期モータのコギングトルクを低減することができる製造方法について説明する。

一般に、永久磁石式同期モータの製造の際に、品質を安定させるために、製造時にコギングトルクを検査することは一般的に行われている。しかし、一般にコギングトルクを検査する工程は全てを組み終えた後、完成品の状態の最終検査の段階にて行われる。よって、製品仕様によって小さなコギングトルクが要求されている場合に、製造時に仕様を満足しない製品が発生した際にはその製品を廃却するか、分解して再調整等を行う等を行っていた。また、ステータ13の外形を圧入する工程のある永



久磁石式同期モータの場合は、その圧入工程によってかえってコギングトルクを増大させている場合もあった。

- [0079] 本実施の形態において、実施の形態6の8極12スロットの場合について説明すると、まず第一に、ステータ13を加圧部品14を加圧する前の段階で、ロータ12とステータ13を組み立て後の位置に合わせて、コギングトルクを測定する。その際、コイル18などは巻いた後の状態で計測するのが望ましい。巻線時のコイル18のテンションによってステータ13のティース部等にも応力が発生している場合があるからである。

尚、大量生産用の製品などにおいて、製造時の上記測定時のコギングトルクの位相が製品毎にほぼ一定になっている場合などは、個々の製品毎に検査する必要はなく、抜き打ち検査等でおこなってもよい。

- [0080] 次に、ロータ12のコギングトルクの角度毎のデータからステータ13を加圧する箇所数 $N$ を決定する。コギングトルクのデータから、ロータ12との極数と同じ8回の脈動成分が検出された場合、非特許文献1の4頁の(19)式により、ステータの作るパーミアンス分布関数がロータ12の1回転あたりに $N$ 回の脈動成分を持っている可能性がある。そしてその $N$ とは、極数の半分の値となる極対数を $p$ 、スロット数 $Z$ 、パーミアンス分布関数をフーリエ級数に展開しときの空間次数 $i1$ とすると $N=p$ 、または $N=\pm 2p-i1 \times Z$ 、または $N=i1 \times Z \pm 2p$ を満たすどれかであることが示されている。

- [0081]  $N$ の解のうち最も小さな正の数は実施の形態6に示されるように4となる。よって、ロータ12の1回転あたり8回の脈動成分のコギングトルクを減少させるためには、逆にステータ13の作るパーミアンス分布関数の4回の脈動成分に対し反対位相となる成分を与える必要があるので、 $N$ は4に決定される。

次に、ロータ12のコギングトルクの角度毎のデータからステータ2を加圧する箇所を決定する。具体的には、コギングトルクのデータから、ロータ12の極数と同数の成分を抽出し、その抽出された略正弦波成分の位相に応じてステータ13を加圧する箇所を決定する。例えば、実施の形態6における図10の曲線aのごときコギングトルクであった場合は、図9に示す基準角度の位置と一直線上にあるティースの中心から90度間隔で4箇所の位置となる。

- [0082] また、コギングトルクの8回の脈動成分の波形が図10の曲線aのような位相から $\alpha$ 度

ずれていた場合は、実施の形態6にて示したように実験的に把握することが望ましいため、しめ代等の条件も考慮して、事前にマップ化等をしており、生産時にそのマップから情報を取り出してステータ13を加圧する対応する箇所を決定する必要がある。

最後に、ステータ13の外周の所定の位置を加圧する。加圧部品14をステータ13の外周部の所定の位置に4箇所合わせて外装フレーム15との間に圧入する。

[0083] したがって、第9の実施の形態においては、円環状に形成され、コイル18が配設された12個のスロットを有するステータ13に対し、8極( $P$ は自然数)の永久磁石を有するロータ12を前記円環部に挿入して組み立てるステップと、ステータ13のコイルに通電しない状態で、ロータ12を回転させて角度毎のコギングトルクを測定するステップと、コギングトルクの測定値に基づいてステータの外周部を加圧する位置を決定するステップと、 $N=4$ 、 $N=\pm 2 \times 4 - 12$ 、または $N=12 \pm 2 \times 4$ から算出される値の正の最小値である4箇所において、前記ステータの外周部を加圧する加圧部品を前記ステータの外部に組み立てるステップとを備えたことを特徴とする。

[0084] これにより、ステータ13の外周部の所定の位置を加圧させる前のコギングトルクの状態を利用するため、その発生要因をブラックボックスとして扱え、いかなる要因である場合もコギングトルクのスロット毎の不均一性に起因する成分を低減することができるので、コギングトルクの要因調査を行うことなく、コギングトルクを低減することができる。

尚、コギングトルクを計測するステップにおいて、ロータ12の極数と同数のコギングトルクが発生しなかった場合は、加圧する構造をもつ加圧部品14や、フレーム15を使用せずに、通常の間管状でステータ13を固定する部品にてステータ13を固定してもよい。また、実施の形態8のフレーム15においても同様に、本実施の形態の製造方法を用いることができる。

[0085] 実施の形態10.

実施の形態10においては、加圧部品にてステータの所定の位置を加圧する箇所数が $N$ の条件の解のうち最小ではない場合でも、コギングトルクを低減することができる永久磁石式同期モータについて説明する。

図15は、本実施の形態10に係わる永久磁石式同期モータの断面図である。実施

の形態6と比較して本実施の形態においてはロータが4極、ステータが12スロットとなっている。また、本実施の形態においてマグネット12cは理想的に配置され、均一で対称的な磁束密度分布を構成するとする。一方ステータ13については製造上不均一な部分を有するためにパーミアンスに脈動成分がある。それが製品に与える影響等については後述する。

- [0086] 実施の形態10における4極12スロットの永久磁石式同期モータのコギングトルクを計測した際にも、ロータ1が1回転するにあたり、ロータ1の極数と同じ4回の脈動成分をもつ場合がある。

実施の形態6から9においては、算出されるNの解のうち正の最小値である場合について説明しているが、Nの解が最小値ではない場合でも、ステータ13の作るパーミアンス分布関数のN回の脈動成分に対し反対位相の成分を与えればコギングトルクが低減される場合がある。実施の形態10の場合である4極12スロットにおいては、脈動成分の回数Nに関する式で $i_l=0$ として、 $N=2$ 、 $N=\pm 2 \times 2-12 \times 0$ 、または $N=12 \times 0 \pm 2 \times 2$ から算出される値のうち正の値である $N=4$ のパーミアンス分布関数の脈動成分が発生している。

- [0087] 尚、非特許文献1には、 $i_l > 0$ を中心に説明が記載されているが、 $i_l$ はパーミアンス分布関数をフーリエ級数に展開したときの空間次数であるので、 $i_l \geq 0$ であっても理論上成立する。上述の式(2)、(3)が成立するときは、 $i_l$ が小さいほどコギングトルクの振幅が大きくなる。

図15に示すようにステータ13のパーミアンス分布関数の脈動回数4に等しい4個の加圧部品14を用意し、加圧位置は、コギングトルクの測定でコギングトルクが零の点またはその近くを第一の加圧位置とし、残りの加圧位置は等しい角度間隔で配置する。これを外装フレーム14とステータ13との間に圧入することで、ステータ13に所定の応力と変位を与える。その応力によって、ステータ13の局部の比透磁率が変化する。

- [0088] ステータ13の変位と応力による比透磁率の変化は、ステータ13とロータ12との空隙量として、ロータ12の1回転あたり4回の脈動となっており、また、ステータ13のバックヨークの応力により比透磁率も、ロータ12の1回転あたり4回の脈動となっている。よ

って、ステータ13とロータ12の位置関係さえあわせれば、パーミアンス分布関数も4回の脈動成分に対し反対位相の成分を与えることとなる。

上記の場合、加圧部品14による加圧前後で、コギングトルクが低減されていることが確認されている。したがって、パーミアンス分布関数も4回の脈動成分が発生しており、それに対して、加圧部品14による加圧によりその反対位相の成分を与えることができる。

[0089] 以上のことより、この実施の形態は、コイルが配設された12個のスロットを有するステータ13と、4極の永久磁石を有し、ステータ13の円環部に挿入されるロータ12と、ステータ13の外周をN箇所において内側に加圧する加圧部品14であって、式(1)  $N = p$ 、または式(2)  $N = \pm 2p - il \times Z$ 、または式(3)  $N = il \times Z \pm 2p$ から求められるNが正の値であるものを備えたので、ステータ13の所定の箇所に、応力と応力による変位を与えて、ステータ13の作るパーミアンスの4回の脈動成分を打ち消してロータ12の極数と同数の脈動成分のコギングトルクを低減させることができる。

[0090] この実施形態の場合、次数  $il = 0$  として、式(1)から  $N = 2$ 、式(2)から  $N = \pm 2 \times 2 - 12 \times 0 = 4$ 、または式(3)から  $N = 12 \times 0 \pm 2 \times 2 = 4$  となる。これらのNの値のうち正の値である4を採用し、4箇所で加圧することとなる。

尚、加圧部品14と外装フレーム15の代わりに、実施の形態8と同様にフレーム15をステータ13に圧入している場合でも、同様の効果を奏することができる。

[0091] 実施の形態11.

実施の形態11においては、実施の形態10における永久磁石式同期モータを実施の形態9の製造方法に適用した場合について説明する。

[0092] 実施の形態9との工程での違いについて説明する。ロータ12のコギングトルクの角度毎のデータからステータ13を加圧する箇所数Nを決定する工程において、実施の形態9の場合においては、 $N = p$ 、または  $N = \pm 2p - il \times Z$ 、または  $N = il \times Z \pm 2p$  のどれかを満たすNの解のうち最も小さな正の数にて決定するが、実施の形態11においては、そのうち正の値である  $N = 4$  のパーミアンス分布関数の脈動成分が発生している場合を考慮してNは4に決定される点が異なる。後の工程は実施の形態9と同様とすることで、永久磁石式同期モータを製造することが可能となる。

[0093] したがって、実施の形態11においては、円環状に形成され、コイル18が配設された12個のスロットを有するステータ13に対し、4極(Pは自然数)の永久磁石を有するロータ12を前記円環部に挿入して組み立てるステップと、コイル18に通電しない状態で、ロータ12を回転させて角度毎のコギングトルクを測定するステップと、コギングトルクの測定値に基づいてステータ13の外周部を加圧する位置を決定するステップと、 $N=2$ 、 $N=\pm 2 \times 2 - 12 \times 0$ 、または $N=12 \times 0 \pm 2 \times 2$ から算出される値のうち正の値である4箇所において、前記ステータ13の外周部を加圧する加圧部品14を前記ステータ13の外部に組み立てるステップとを備えたので、ステータ13の外周部の所定の位置を加圧させる前のコギングトルクの状態を利用するため、その発生要因をブラックボックスとして扱え、いかなる要因である場合もコギングトルクのスロット毎の不均一性に起因する成分を低減することができるので、コギングトルクの要因調査を行うことなく、コギングトルクを低減することができる。

[0094] 尚、コギングトルクを計測するステップにおいて、ロータ12の極数と同数のコギングトルクが発生しなかった場合は、加圧する構造をもつ加圧部品14や、フレーム15を使用せずに、通常の間環状でステータ13を固定する部品にてステータ13を固定してもよい。

#### 図面の簡単な説明

[0095] [図1]本発明に係る実施の形態1における永久磁石式同期モータのステータの軸方向に垂直な断面を示す図である。

[図2]本発明に係る実施の形態2における永久磁石式同期モータのステータの軸方向に垂直な断面を示す図である。

[図3]本発明に係る実施の形態3における永久磁石式同期モータのステータの軸方向に垂直な断面を示す図である。

[図4]本発明に係る実施の形態4における永久磁石式同期モータのステータの軸方向に垂直な断面を示す図である。

[図5]本発明に係る実施の形態4におけるフレームの、法線方向の肉厚分布を示したものである。

[図6]本発明に係る実施の形態5における関節型鉄心を説明する図である。

[図7]本発明に係る実施の形態5における関節型鉄心の突き合せ部を説明する図である。

[図8]本発明に係る実施の形態5における関節型鉄心の突き合せ部で位置決めして製造した場合のコギングトルクの低次成分の実測結果を示すものである。

[図9]本発明に係る実施の形態6における永久磁石式同期モータのステータの軸方向に垂直な断面を示す図である。

[図10]本発明に係る実施の形態6における永久磁石式同期モータのロータの角度におけるコギングトルクの計測結果の一例である。

[図11]本発明に係る実施の形態7における永久磁石式同期モータの軸方向に垂直な断面を示す図である。

[図12]本発明に係る実施の形態7における永久磁石式同期モータのロータの角度におけるコギングトルクの計測結果の一例である。

[図13]本発明に係る実施の形態8における永久磁石式同期モータの軸方向に垂直な断面を示す図である。

[図14]本発明に係る実施の形態8における永久磁石式同期モータの横断面図である。

[図15]本発明に係る実施の形態10における永久磁石式同期モータの軸方向に垂直な断面を示す図である。

#### 符号の説明

- [0096]    1 固定子鉄心                      2 ティース  
          3 スロット                      4 フレーム  
          5 取付用ネジ穴                      6 フレーム短軸線  
          7 ティース中心線                      8 スロット中心線  
          9 方形対角線                      10 関節部  
          11 突き合せ部(溶接部) 12 ロータ  
          12a シャフト 12b ロータヨーク  
          12c 磁石 13 ステータ  
          14 加圧部品 15 外装フレーム

## 請求の範囲

- [1] 円環状に形成され、コイルが配設された $Z$ 個( $Z$ は自然数)のスロットを有するステータコアと、 $2 \times p$ 極( $p$ は自然数)の永久磁石を有し、前記ステータコアの円環部に挿入されるロータと、前記ステータコアの外周を $N$ 箇所において内側に加圧する加圧部品であって、前記 $N$ は $N=p$ 、 $N=\pm 2 \times p - Z \times il$ ( $il$ は0以上の整数)、または $N=Z \times il \pm 2 \times p$ から算出される値のうち正の値のいずれかであるもの、とを備えたことを特徴とする永久磁石式同期モータ。
- [2] 前記 $N$ は $N=p$ 、 $N=\pm 2 \times p - Z \times il$ ( $il$ は0以上の整数)、または $N=Z \times il \pm 2 \times p$ から算出される値のうち正の最小値であることを特徴とする請求項1に記載の永久磁石式同期モータ。
- [3] 前記加圧部品は、前記ステータコアを固定し、かつ前記ロータの一端を回動可能に支持するフレームにて構成されていることを特徴とする請求項1に記載の永久磁石式同期モータ。
- [4] フレーム内にステータコアを固定することにより永久磁石式同期モータを製造する方法において、フレームの特定部位と、ステータコアの特定部位をそれぞれ基準位置とし、上記両部位を特定の位置関係をもって位置決めした後、固定することを特徴とする永久磁石式同期モータの製造方法。
- [5] 上記フレームの特定部位を、ステータコアの外周を $N$ 箇所( $N$ は自然数)において、ほかの部位よりも大きな力で内側に加圧する部位としたことを特徴とする請求項第4項記載の永久磁石式同期モータの製造方法。
- [6] ほかの部位よりも大きな力で内側に加圧するフレームの特定部位として、スペーサなどの加圧部材を設けたことを特徴とする請求項第5項記載の永久磁石式同期モータの製造方法。
- [7] フレームの特定部位と、ステータコアの特定部位をそれぞれ基準位置とし、上記両部位を特定の位置関係をもって位置決めした後、固定する場合に、ステータコアの特定部位を、ティース中心あるいはスロット中心としたことを特徴とする請求項4項記載の永久磁石式同期モータの製造方法。
- [8] フレームの特定部位と、ステータコアの特定部位をそれぞれ基準位置とし、上記両部

位を特定の位置関係をもって位置決めした後、固定する場合に、ステータコアの特定部位を、接合部(継目部)としたことを特徴とする請求項4項記載の永久磁石式同期モータの製造方法。

- [9] フレームの特定部位と、ステータコアの特定部位をそれぞれ基準位置とし、上記両部位を特定の位置関係をもって位置決めした後、固定する場合に、特定の位置関係を、あらかじめ測定しておいた、フレーム装着前のステータコアのコギングトルクを打ち消すよう、フレームの加圧点数 $N$ と、ステータコアとフレームの基準位置を、位置決めすることを特徴とする請求項第4項記載の永久磁石式同期モータの製造方法。
- [10] 円環状に形成され、コイルが配設された $Z$ 個( $Z$ は自然数)のスロットを有するステータコアに対し、 $2 \times p$ 極( $p$ は自然数)の永久磁石を有するロータを前記円環に挿入して組み立てるステップと、前記コイルに通電しない状態で、前記ロータを回転させて角度毎のコギングトルクを測定するステップと、コギングトルクの測定値に基づいて前記ステータコアの外周部を加圧する位置を決定するステップと、 $N=p$ 、 $N=\pm 2 \times p - Z \times il$ ( $il$ は0以上の整数)、または $N=Z \times il \pm 2 \times p$ から算出される値のうちの正の値のいずれかである $N$ 箇所において、前記ステータコアの外周部を加圧する加圧部品を前記ステータコアの外部に組み立てるステップとを備えたことを特徴とする永久磁石式同期モータの製造方法。
- [11] フレーム内にステータコアを固定することにより永久磁石式同期モータを製造する方法において、上記フレームからステータコアへの応力が、そのモータの機種毎に、上記ステータコアの予め決められた部位で、極点を取る配置に、上記フレーム及びステータコア間の位置決めをして、上記フレームに対して上記ステータコアを固定することを特徴とする永久磁石式同期モータの製造方法。
- [12] 上記フレームに楕円を含む略円形のフレームを採用し、フレームの短軸線あるいは長軸線に対しステータコアのティース中心線あるいはスロット中心線が一致するように位置決めして、上記フレームに対して上記ステータコアを固定することを特徴とする請求項11に記載の永久磁石式同期モータの製造方法。
- [13] 上記フレームからステータコアへの応力が極大になる配置が、そのモータの機種毎に、上記ステータコアのティース中心線あるいはスロット中心線と一致するようにフレ



ーム及びステータコア間の位置決めをして、上記フレームに対して上記ステータコアを固定することを特徴とする請求項11に記載の永久磁石式同期モータの製造方法。

- [14] 上記フレームに方形フレームを使用し、このフレームの対角線に対しステータコアのティース中心線あるいはスロット中心線が一致するように位置決めをして、上記フレームに対して上記ステータコアを固定することを特徴とする請求項11に記載の永久磁石式同期モータの製造方法。

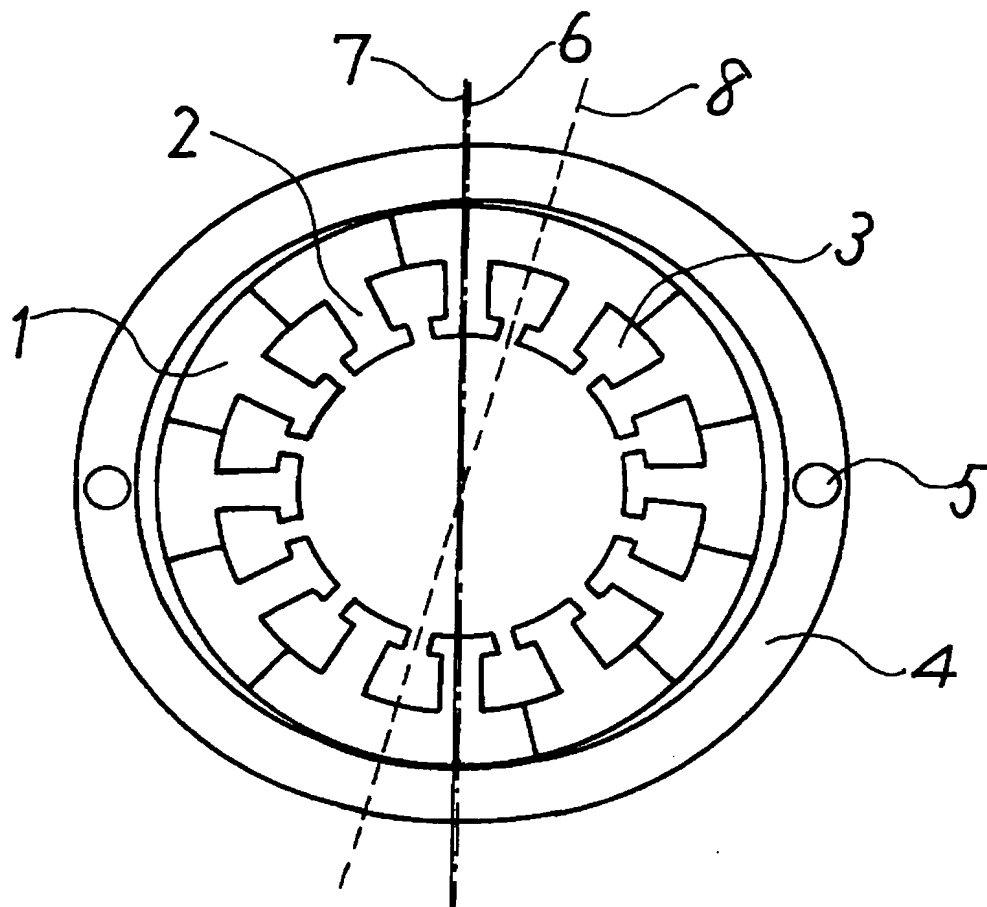
- [15] 上記フレームからステータコアへの応力がフレームの法線方向の肉厚分布において極小あるいは極大となり、かつ、肉厚の変化率において極小となる配置が、そのモータの機種毎に、上記ステータコアのティース中心線あるいはスロット中心線と一致するように、フレーム及びステータコア間の位置決めをして、上記フレームに対して上記ステータコアを固定することを特徴とする請求項11に記載の永久磁石式同期モータの製造方法。

- [16] 上記フレームからステータコアへの応力が極小または極大になる配置が、そのモータの機種毎に、上記ステータコアのティース中心線あるいはスロット中心線と一致するように位置決めする際、製造上の位置決め精度の範囲の角度領域をもって、フレーム及びステータコア間の位置決めをして、上記フレームに対して上記ステータコアを固定することを特徴とする請求項11に記載の永久磁石式同期モータの製造方法。

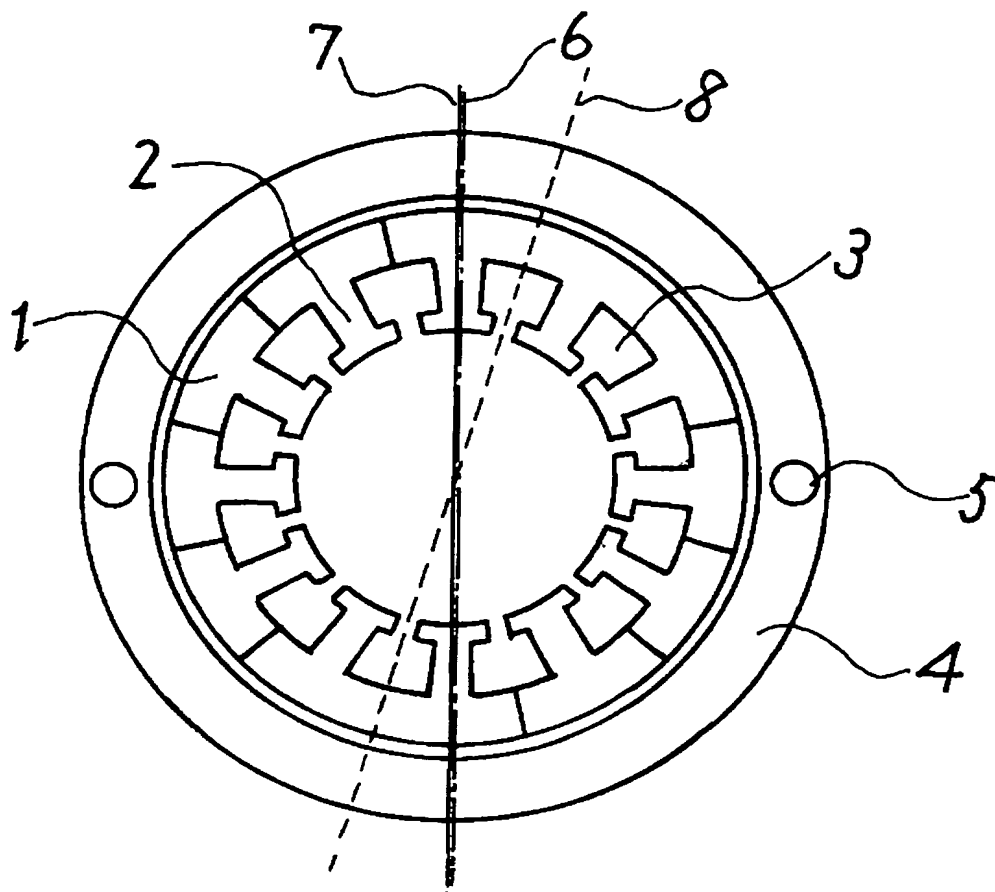
- [17] 突き合せ部あるいは溶接部を要する関節型ステータコアあるいは薄肉連結型ステータコアを採用し、上記フレームの法線方向の肉厚分布が極小となり、かつ、肉厚の変化率が極小となる配置が、上記突き合せ部あるいは溶接部と一致するように、フレーム及びステータコア間の位置決めをして、上記フレームに対して上記ステータコアを固定することを特徴とする請求項11に記載の永久磁石式同期モータの製造方法。

- [18] 上記位置決め時の精度範囲を±10度の角度領域としたことを特徴とする請求項16あるいは請求項17に記載の永久磁石式同期モータの製造方法。

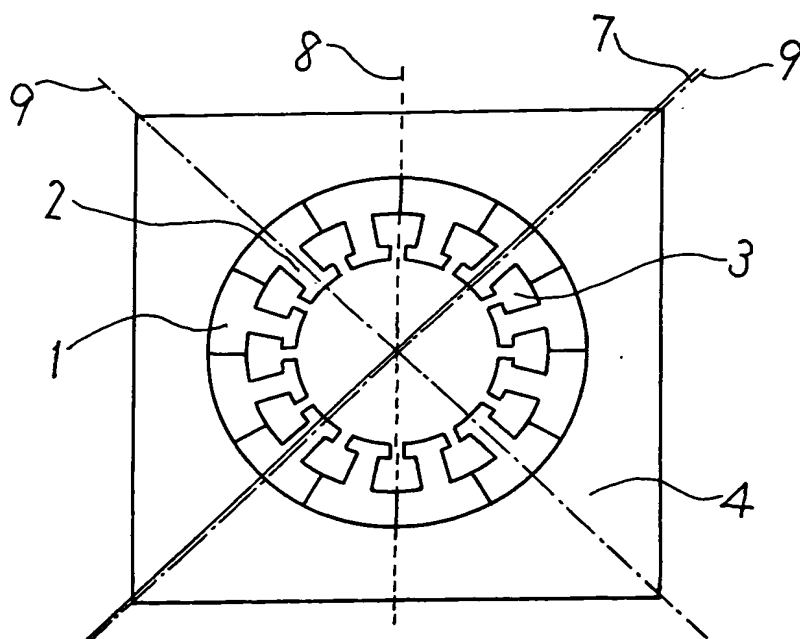
[図1]



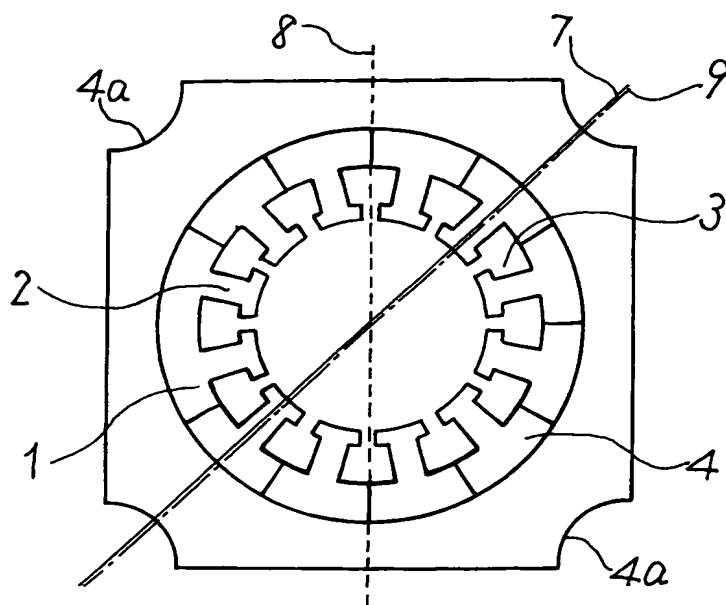
[図2]



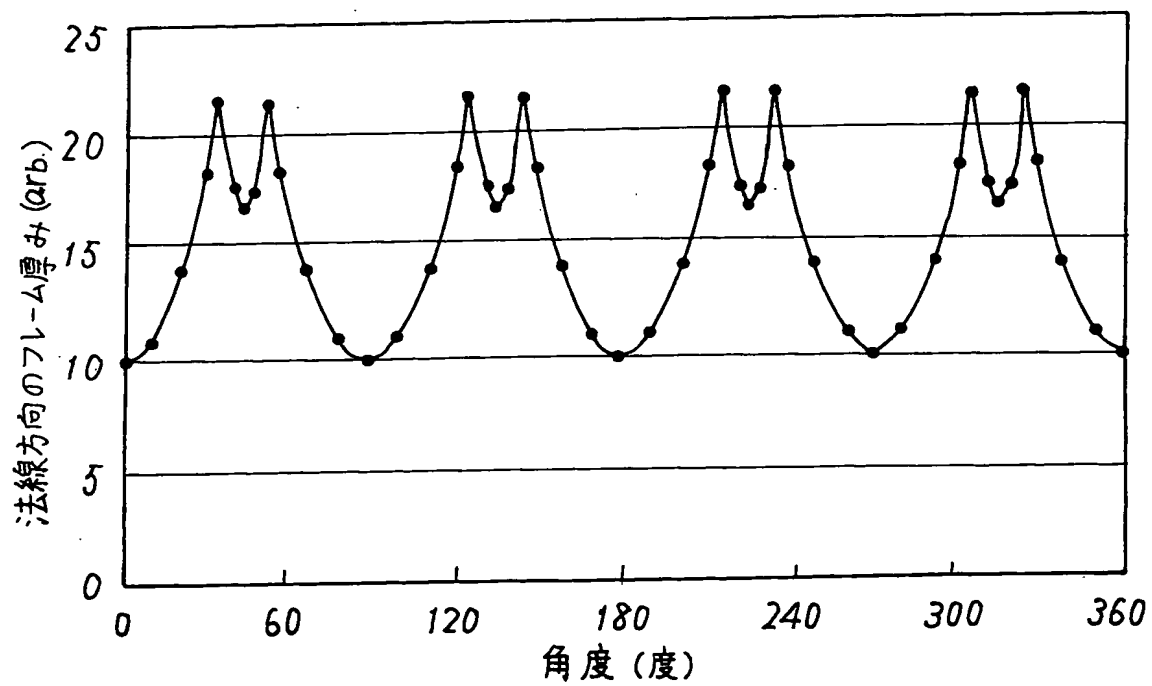
[図3]



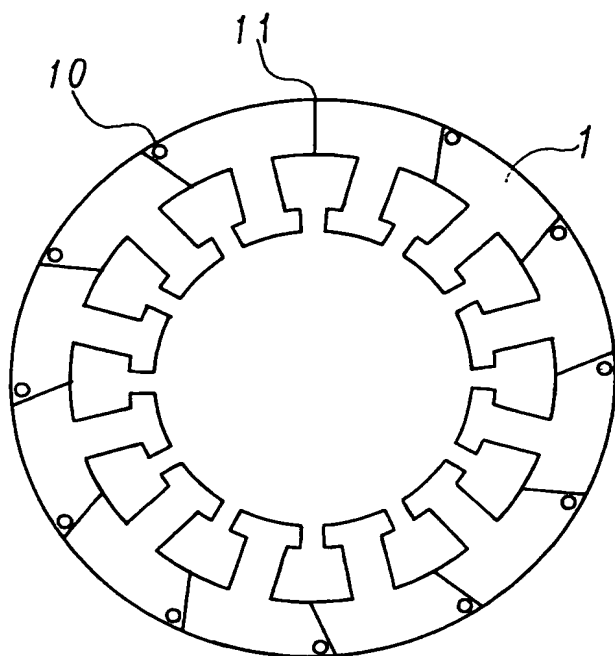
[図4]



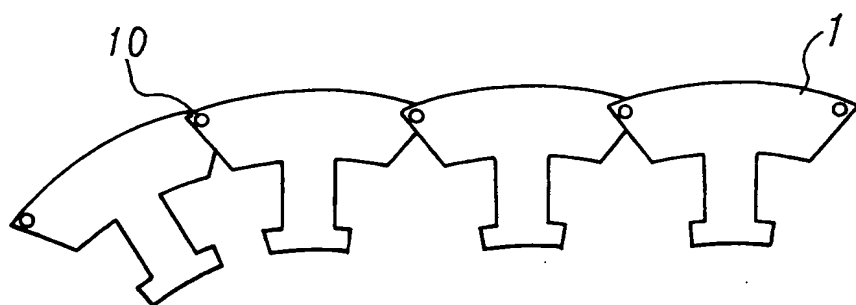
[図5]



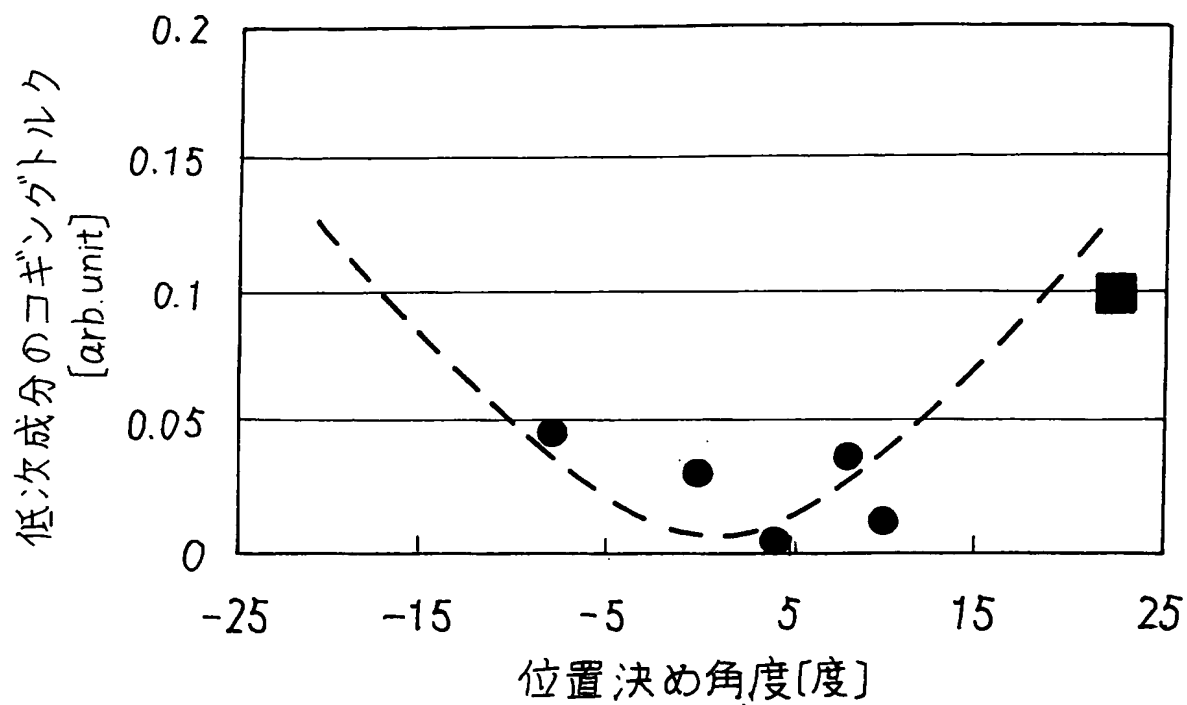
[図6]



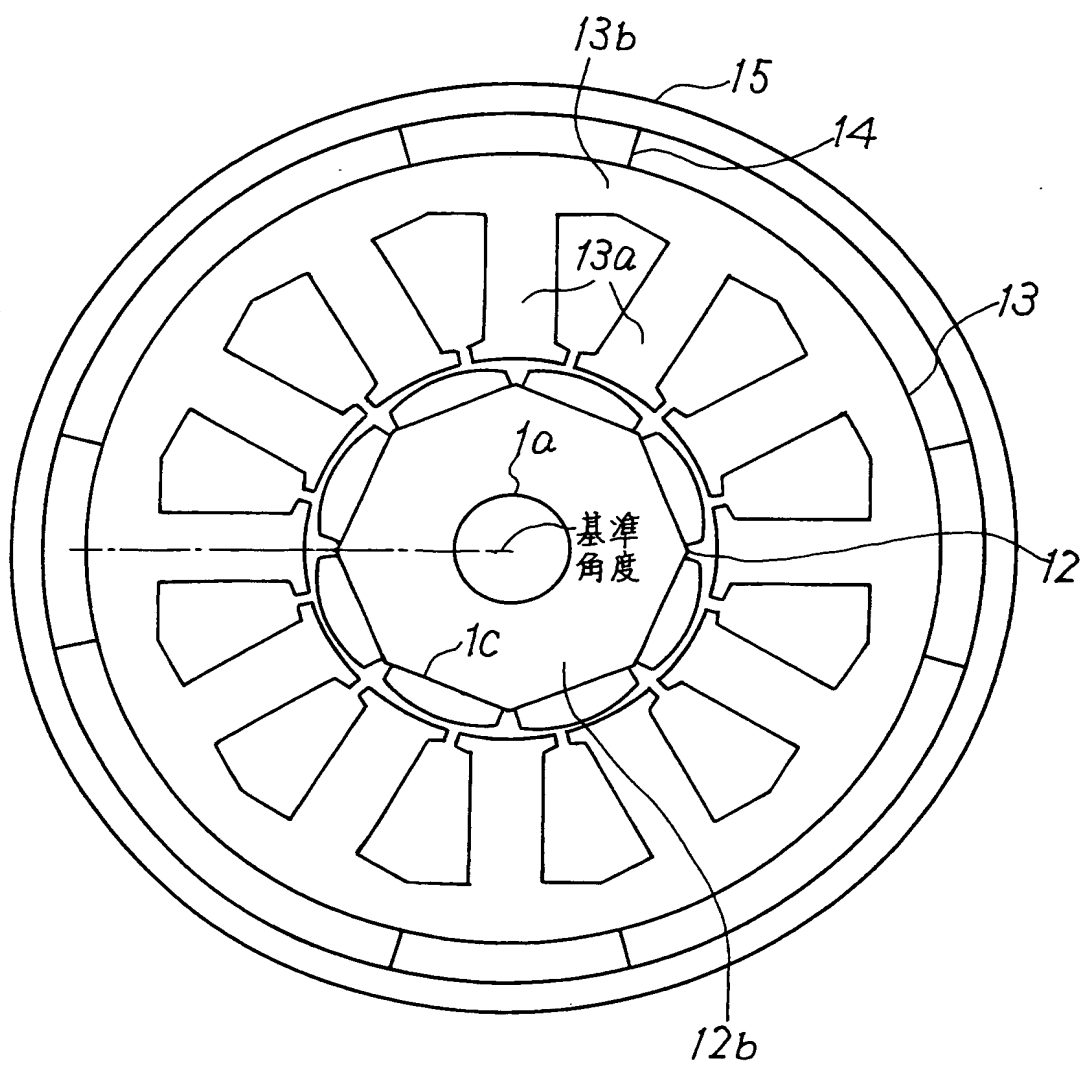
[図7]



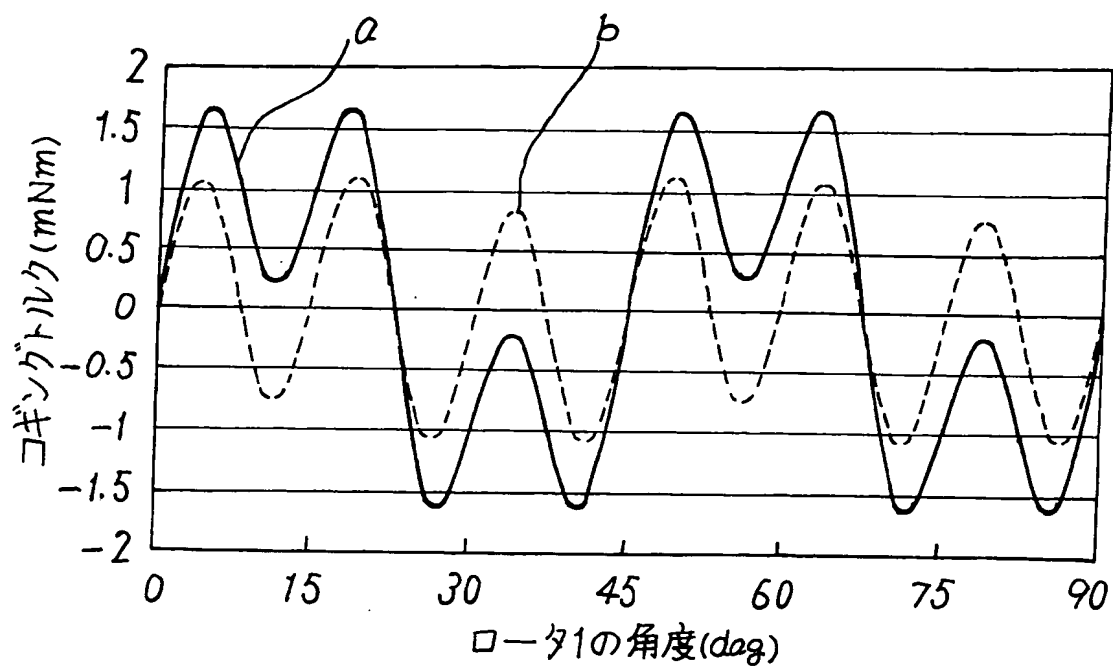
[図8]



[図9]

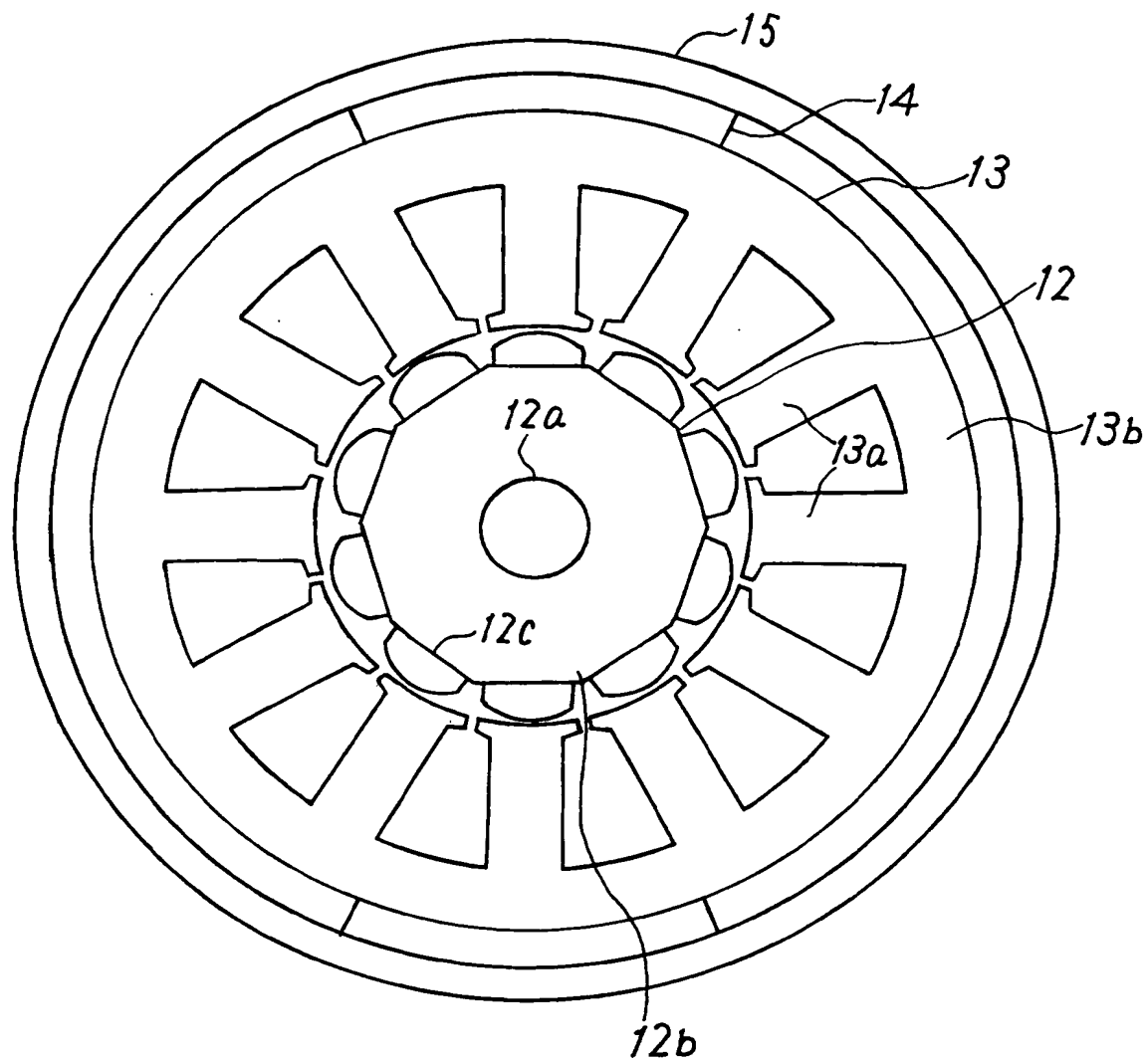


[図10]

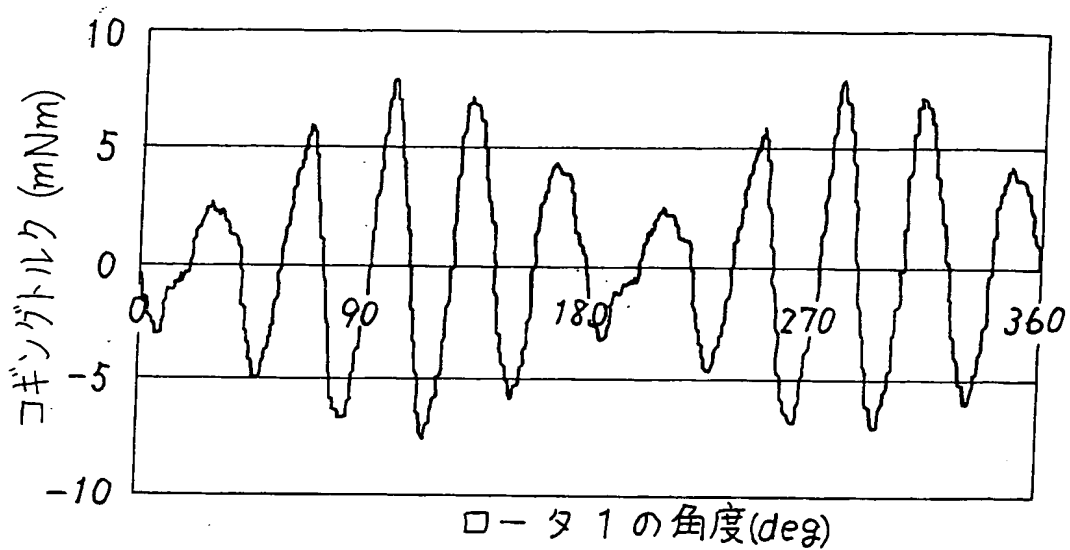




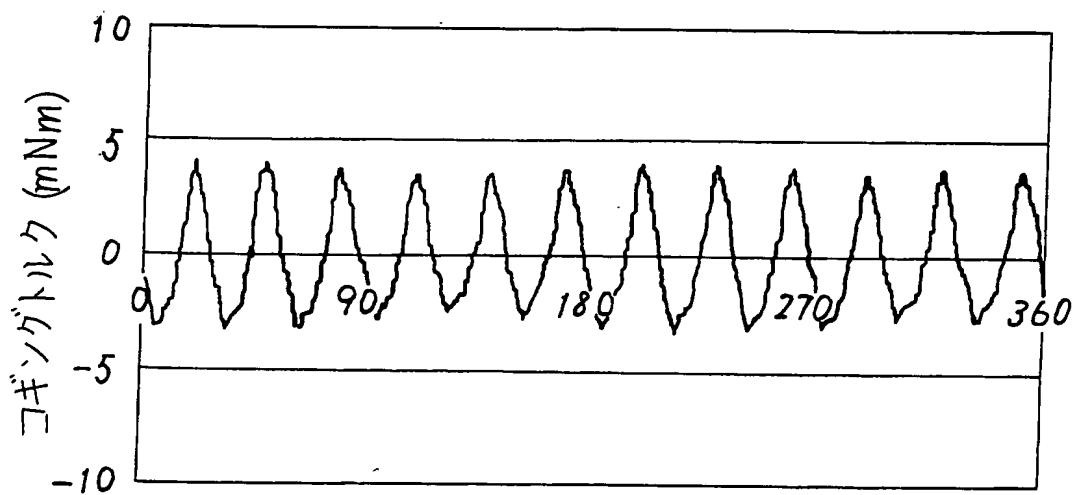
[図11]



[図12]



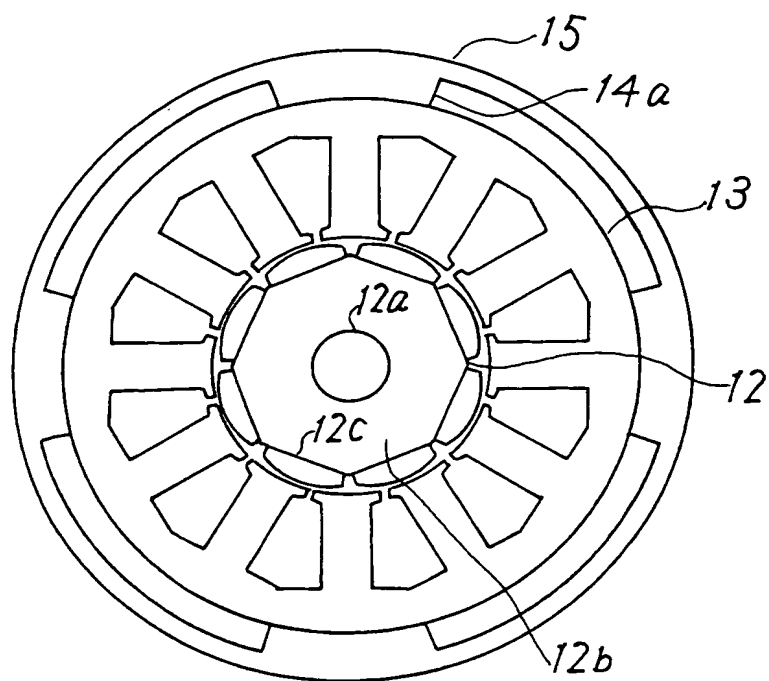
(a)



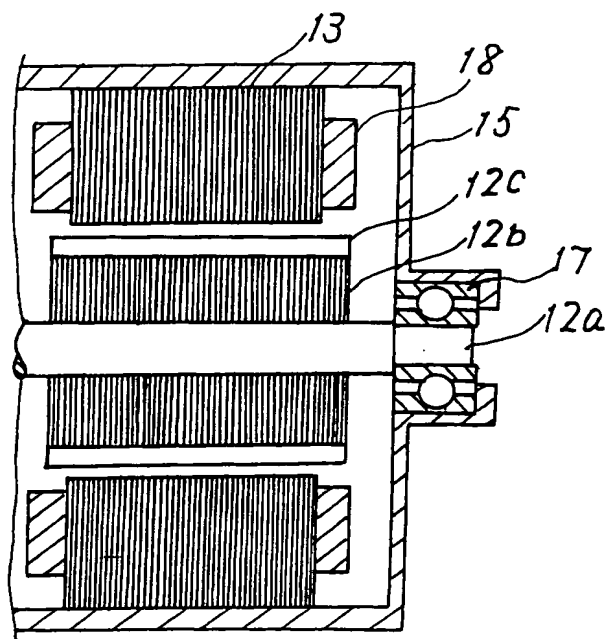
ロータ 1 の角度(deg)

(b)

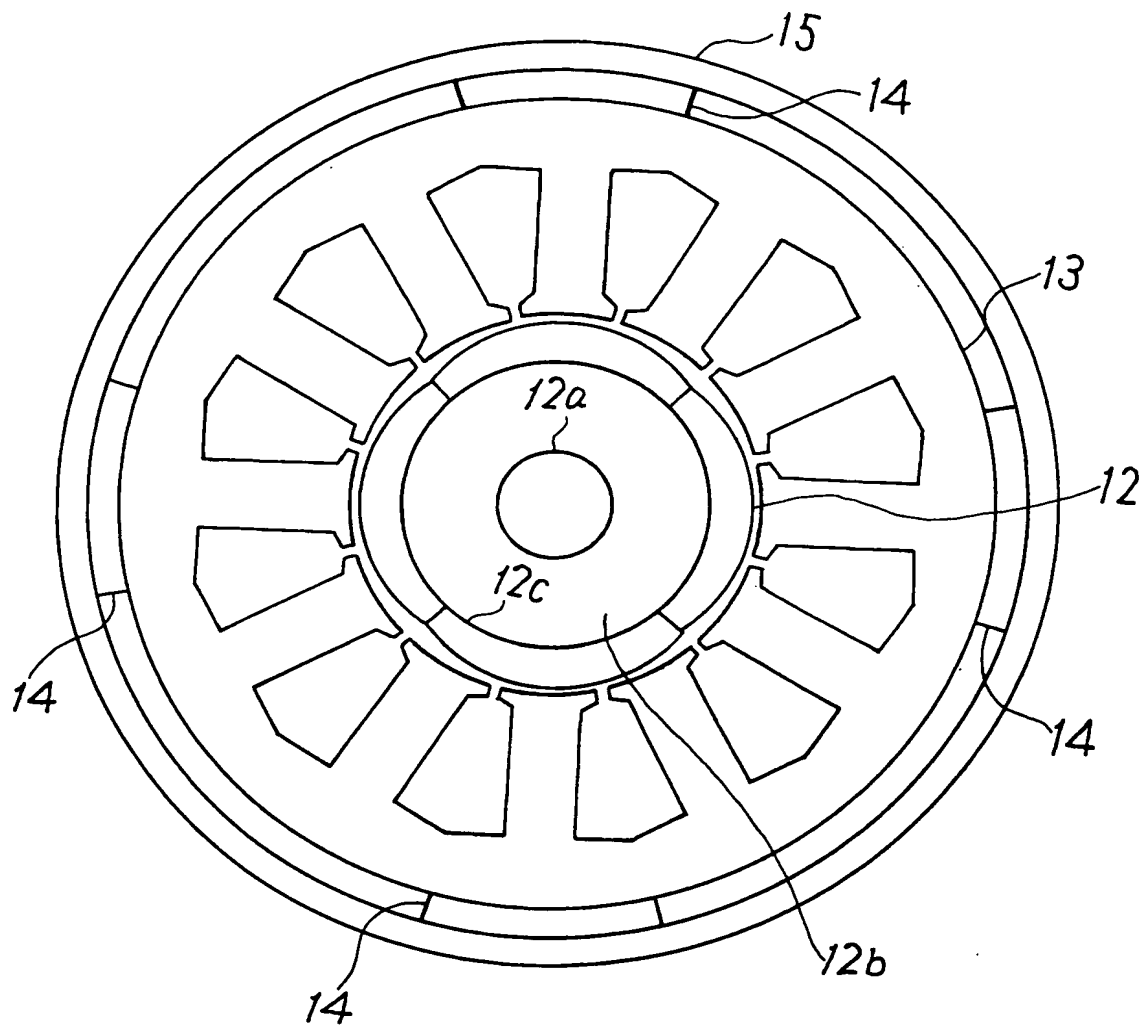
[図13]



[図14]



[図15]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/012289

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H02K21/00, H02K5/00, H02K15/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H02K21/00, H02K5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2000-217284 A (Toshiba Corp.), 04 August, 2000 (04.08.00), Par. No. [0015]; Fig. 2 (Family: none)	1-8, 10
A	JP 2001-218429 A (Hitachi, Ltd.), 10 August, 2001 (10.08.01), (Family: none)	1-18
P, X	Akihiro OKOKU et al., "RM-03-74 Frame no Oryoku no Eikyo o Koryo shita PM Motor no Cogging Torque Kaiseki", The Institute of Electrical Engineers of Japan Kenkyukai Shiryo, The Institute of Electrical Engineers of Japan, 06 September, 2003 (06.09.03), pages 13 to 18	1-8, 10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
21 October, 2004 (21.10.04)Date of mailing of the international search report  
09 November, 2004 (09.11.04)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/012289

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	Akihiro OKOKU et al., "RM-03-152 Gaibu Oryoku Inkaji no PM Motor no Cogging Torque ni Kansuru Jikken Kento", The Institute of Electrical Engineers of Japan Kenkyukai Shiryo, The Institute of Electrical Engineers of Japan, 28 November, 2003 (28.11.03), pages 13 to 18	1-8,10

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H02K21/00 H02K5/00 H02K15/02

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H02K21/00 H02K5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP2000-217284 A (株式会社東芝) 04.08.2000, 段落【0015】, 第2図 (ファミリーなし)	1-8, 10
A	JP2001-218429 A (株式会社日立製作所) 10.08.2001 (ファミリーなし)	1-18
P, X	大穀晃裕他, RM-03-74フレームの応力の影響を考慮したP Mモータのコギングトルク解析, 電気学会研究会資料, 社団法人電気 学会, 06.09.2003, P.13-18	1-8, 10
P, X	大穀晃裕他, RM-03-15.2外部応力印加時のPMモータのコ ギングトルクに関する実験検討, 電気学会研究会資料, 社団法人電気 学会, 28.11.2003, P.13-18	1-8, 10

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

21.10.2004

国際調査報告の発送日

09.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

川端 修

3V

3519

電話番号 03-3581-1101 内線 3356